

**SERGIO MONTEIRO LIMA JUNIOR**

**ANÁLISE FOTOELÁSTICA COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE  
ANCORAGEM DENTAL E ESQUELÉTICA NA EXPANSÃO RÁPIDA DE  
MAXILA CIRURGICAMENTE ASSISTIDA**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de  
Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas,  
para obtenção do título de Doutor em Clínica  
Odontológica, Área de Cirurgia e Traumatologia  
Buco-Maxilo-Faciais.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Asprino

Co-orientador: Prof. Dr. Márcio de Moraes

**PIRACICABA**

**2011**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**

Bibliotecária: Elis Regina Alves dos Santos – CRB-8ª / 8099

L628a      Lima Júnior, Sergio Monteiro.  
Análise fotoelástica comparativa da utilização de ancoragem dental e esquelética na expansão rápida de maxila cirurgicamente assistida / Sergio Monteiro Lima Júnior. -- Piracicaba, SP: [s.n.], 2011.

Orientadores: Luciana Asprino, Márcio de Moraes.  
Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Cirurgia ortognática. 2. Anormalidades maxilofaciais. 3. Má oclusão. I. Asprino, Luciana. II. Moraes, Márcio de. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. IV. Título.

(eras/fop)

Título em Inglês: Comparative photoelastic analysis of the dental and skeletal anchorage used in the surgically assisted rapid maxillary expansion

Palavras-chave em Inglês (Keywords): 1. Orthognathic surgery. 2. Maxillofacial abnormalities. 3. Malocclusion

Área de Concentração: Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Faciais

Titulação: Doutor em Clínica Odontológica

Banca Examinadora: Luciana Asprino, Leandro Eduardo Kluppel, Sandra de Cássia Santana Sardinha, Simonides Consani, José Ricardo de Albergaria-Barbosa

Data da Defesa: 11-02-2011

Programa de Pós-Graduação em Clínica Odontológica



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**Faculdade de Odontologia de Piracicaba**



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de Doutorado, em sessão pública realizada em 11 de Fevereiro de 2011, considerou o candidato SERGIO MONTEIRO LIMA JUNIOR aprovado.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Luciana Asprino", written over a horizontal line.

Profa. Dra. LUCIANA ASPRINO

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Leandro E. Klüppel", written over a horizontal line.

Prof. Dr. LEANDRO EDUARDO KLÜPPEL

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Sandra de Cassia Sardinha", written over a horizontal line.

Profa. Dra. SANDRA DE CÁSSIA SANTANA SARDINHA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jose Ricardo de Albergaria Barbosa", written over a horizontal line.

Prof. Dr. JOSE RICARDO DE ALBERGARIA BARBOSA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Simonides Consani", written over a horizontal line.

Prof. Dr. SIMONIDES CONSANI

Dedico a conclusão desta pós-graduação aos meus pais e a minha irmã. Sem vocês este momento não existiria.

## Agradecimentos

A Faculdade de Odontologia de Piracicaba – Universidade Estadual de Campinas, na pessoa do diretor desta unidade, Professor Dr. Jacks Jorge Júnior, pelo apoio e infraestrutura que permitiram a realização de minha pós-graduação.

A Coordenadoria de Pós-graduação e ao programa de Pós-graduação em Clínica Odontológica, representados pelos Coordenadores Professores Renata C. Matheus R. Garcia e Márcio de Moraes, pela busca de excelência nessa instituição.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro na forma de bolsa no período inicial do curso de doutorado.

A Área de Cirurgia Buco-Maxilo-Facial da FOP/Unicamp, incluindo seus hospitais conveniados, em nome de seu responsável - Professor Doutor Márcio de Moraes - que permitiu a realização de minha formação profissional através de sua estrutura e funcionários.

Ao Prof. Dr. Roger William Fernandes Moreira, por sua indispensável dedicação, preocupação e zelo em nossa formação como cirurgiões e profissionais. A sua organização e seriedade são um grande exemplo.

Ao Prof. Dr. José Ricardo de Albergaria Barbosa, pela amizade, honestidade, clareza e pelos conhecimentos. Seu bom humor sempre aliviou nossa rotina diária.

Aos amigos e Colegas da Universidade Federal de Minas Gerais, do presente e do passado, que foram determinantes em minha formação pessoal e profissional.

A minha família, Antônio, Rômulo, Leonardo, Carlos, Paulo, Edson, José Guilherme, Paula, Carmem e avó Rita, pelo carinho e preocupação constante com meu bem estar durante a pós-graduação.

A Jordanna, minha amiga e companheira, que tem se doado para o nosso relacionado e tem ajudado a atingir todas as minhas metas.

Aos professores da comissão examinadora do exame de qualificação, Alexander Tadeu Sverzut, Alexandre Elias Trivellato e Deborah Queiroz de Freitas. Obrigado pela atenção e correções feitas nesse estudo.

Ao Prof. Dr. Simonides Consani, pelo exemplo de dedicação à docência e disponibilidade de auxílio aos demais docentes e discentes. Um modelo de professor a ser seguido, graças ao respeito, a educação, a organização e a seriedade que sempre demonstra em tudo que faz. A sincera gratidão e reconhecimento da Área de Cirurgia Buco-Maxilo-Facial da FOP -Unicamp.

À Área de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – Unicamp, em nome do Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho pela possibilidade de realização dos experimentos no laboratório da área.

Ao Engenheiro Marcos Blanco Cangiani, da Área de Materiais Dentários da FOP-Unicamp, pelo auxílio, prestatividade e cordialidade na fase experimental deste trabalho.

Ao professor José Alberto Martelli Filho, pelo auxílio, prestatividade e cordialidade na fase experimental deste trabalho e pelas aulas ministradas durante a pós-graduação.

Aos Amigos Lucas Martins, Wagner Castro, Luiz Felipe e Carolina Franco. Esse momento deve ser dividido com pessoas como vocês.

A Daiana Tonin e Edilaine Felipe. Vocês duas são indispensáveis para todos os alunos. E se tornaram minhas amigas indispensáveis.

Ao Professor José Nazareno Gil, da Universidade Federal de Santa Catarina, onde fiz minha residência em CTBMF, que conduziu meu caminho inicial por esta especialidade.

Aos Colegas de Pós, Leandro, Renato, Eduardo, Jaime, Miguel, Fábio, Adriano, Frederico, Henrique, Sergio Olate, Erick, Lucas Cavalieri, Gabriela, Paulo Hemerson, Simeí, Cláudio, Rafael Ortega, Renato, Marcelo, Evandro, Castelo e Valdir. Dividir tarefas, dificuldades e alegrias durante o curso foi muito importante. Muito obrigado.

Aos amigos de turma, Érica Marchiori, José Luiz Munantes, Patrício e Saulo Ellery Santos. Muito obrigado pela amizade, companheirismo e apoio durante toda a pós-graduação.

As funcionárias da Área de CTBMF da FOP/Unicamp, Edilaine Felipe, Daiana Tonin, Angélica Quinhones e Keila Menegali, pela ajuda imprescindível durante o curso e com os pacientes.

As funcionárias da instituição, sempre solícitas e disponíveis a qualquer momento, para solucionar nossas questões.

Aos estagiários, que contribuíram com seu auxílio no atendimento de pacientes e durante o curso de pós-graduação.

As amizades que cultivei pelo caminho e a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho,

A Deus, por estar sempre presente em nossas vidas.



## Agradecimentos Especiais

A Professora Doutora e Orientadora Luciana Asprino: Certa vez escutei que amor a profissão significa se dedicar ao máximo. Portanto, gostaria de agradecer a dedicação com minha dissertação e minha tese, a dedicação a área de CTBMF da FOP/Unicamp, sua dedicação em ensinar cirurgia e a sua dedicação com o meu futuro. Lembrarei sempre de sua imagem como professora dedicada e competente.

Ao Professor Doutor e Co-orientador Márcio de Moraes: aprendi com o senhor muito mais do que cirurgia. Aprendi valores e idéias que compartilharei com outros. Obrigado pela maneira honesta e acolhedora que me recebeu na pós-graduação e pelo carinho e dedicação na formação de todos os alunos que cursam cirurgia na Área de CTBMF da FOP/Unicamp.

Ao meu pai, Sergio Monteiro Lima, minha mãe, Leda Ferrari Monteiro Lima e minha irmã, Juliana Regina Monteiro Lima. Vocês entenderam a minha ausência de anos, sempre me apoiaram e se sacrificaram para que este momento chegasse. Muito obrigado.

## RESUMO

A expansão rápida de maxila cirurgicamente assistida é um método eficiente no tratamento da deficiência transversa da maxila em paciente adultos. O objetivo deste estudo mecânico qualitativo foi avaliar por meio de modelos fotoelásticos de um crânio humano a simulação da expansão rápida de maxila cirurgicamente assistida, comparando três tipos de ancoragem, analisando a distribuição de forças, com e sem disjunção ptérigomaxilar. As ancoragens utilizadas foram: um expansor Hyrax com ancoragem em primeiros pré-molares e primeiros molares; um expansor chamado de Hyrax modificado, com bandas em primeiros pré-molares e primeiros molares unidos a um fio ortodôntico retangular que se estendia de caninos a segundo molar; e ancoragem óssea do distrator de Rotterdam. A análise fotoelástica qualitativa foi realizada utilizando-se polariscópio plano. Os três expansores apresentaram distribuição de tensões homogêneas pelas réplicas de crânio através dos pilares caninos, pilares zigomáticos e processos pterigóideos, se estendendo para regiões mais altas do crânio; O expansor Hyrax modificado apresentou melhor distribuição das tensões nos dentes e adjacências, com menor concentração nessa região que o expansor Hyrax. A ancoragem promovida pelo distrator de Rotterdam apresentou melhor distribuição das tensões com menor concentração nos dentes e adjacências do que os expansores Hyrax e Hyrax modificado. Após a simulação das osteotomias, ocorreu marcante diminuição de forças para as regiões superiores das réplicas de crânio. Em conclusão: A ancoragem promovida pelo expansor Hyrax modificado apresentou melhor distribuição das tensões com menor concentração das mesmas nos dentes e adjacências do que o expansor Hyrax; A ancoragem promovida pelo expansor Rotterdam apresentou melhor distribuição das tensões com menor concentração das mesmas nos dentes e adjacências do que os expansores Hyrax e Hyrax modificado; A realização da disjunção ptérigomaxilar resultou em diminuição da concentração de tensões pelo crânio independente da ancoragem avaliada.

Palavras-chave: Cirurgia Ortognática, Deformidade maxilofacial, Maloclusão

## ABSTRACT

The Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion (SARME) is an efficient method to treat the transverse maxillary deficiency. The aim of this mechanical and qualitative study was to evaluate the distribution of stress throughout the skull, of three different expanders used in the surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME), using comparative photoelastic analysis simulating SARME with and without pterygoidmaxillary disjunction. The skull analogs were constructed in two halves, to allow the creation of nasal cavity and maxillary sinuses, which were subsequently bonded. It was used three different expanders in the tests. The first was a standard Hyrax-type appliance, with anchorage at first bicuspid and first molars. The second was a modified Hyrax-type appliance, with anchorage at first bicuspid and first molars that was united by means of a passively adapted rectangular orthodontic wire splinting together cuspid, bicuspid first and second molars. The third was the bone-borne Rotterdam expander. The photoelastic analysis was done immersing the skull replicas in a tank of mineral oil and using a plane polariscope. All three expanders generated similar anterior and posterior fringe patterns along the canine and zygomatic buttress and pterygoid processes. The modified hyrax showed a wider distribution of the tension through the teeth, with a decrease intensity of the fringe patterns when compared with the Hyrax expander. The Rotterdam distractor did not showed tension lines at and around the teeth, resulting in better force distribution than the two others expanders. The simulation of the osteotomies of the SARME decreased the amount of fringe patterns throughout the skull analogs. In conclusion, the three anchorage evaluated did not influence the final distribution of tension throughout the skull; there were variation in the fringe patterns generated by different anchorages; the modified Hyrax-type appliance indicates less load over teeth than the conventional Hyrax-type; the Rotterdam distractor does not load teeth, keeping the patterns of force distribution in the skull analog; the pterygomaxillary disjunction makes the SARME easier and predictable, independently of the anchorage used.

Key-words: Orthognathic surgery; Maxillofacial abnormalities; Malocclusion

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Expansão Rápida de Maxila Cirurgicamente Assistida.....	5
2.2 Expansores Utilizados na Expansão Rápida da Maxila Cirurgicamente Assistida.....	9
2.3 Distribuição de Tensões no Esqueleto Facial durante a Expansão Rápida de Maxila Cirurgicamente Assistida.....	14
2.3.1 Utilização da Análise Fotoelástica em Expansão Rápida de Maxila Cirurgicamente Assistida.....	15
2.4 Princípios de Análise Fotoelástica.....	17
2.4.1 Modelos de Polariscópio.....	18
<b>3 PROPOSIÇÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
4.1 Confecção das Réplicas de Crânio em Resina Fotoelástica.....	22
4.2 Confecção dos Expansores Hyrax e Adaptação do Distrator de Rotterdam .....	26
4.3 Análise Fotoelástica.....	31
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
5.1 Análise Comparativa da Distribuição Inicial de Tensões entre os Expansores.....	39
5.2 Análise Comparativa da Distribuição de Tensões após Osteotomias Vestibulares e Palatina Mediana.....	42
5.3 Análise Comparativa da Distribuição de Tensões entre 1,5 e 3,0 mm de Ativação antes da Disjunção Ptérigomaxilar .....	45
5.4 Análise Comparativa da Distribuição de Tensões após Disjunção Ptérigomaxilar.....	48
<b>6 DISCUSSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A deficiência transversal de maxila é uma deformidade dentofacial caracterizada por mordida cruzada unilateral ou bilateral associada a um arco maxilar de perímetro estreito, concavidade palatina profunda, dentes apinhados e deslocados do arco, podendo ser classificada como dentária ou esquelética. As deficiências transversais da maxila de origem dentária apresentam apenas um ou dois dentes com mordida cruzada e são unilaterais. As deficiências transversais da maxila de origem esquelética apresentam mordidas cruzadas de todo hemi-arco com discrepâncias inter-arcos mais severas, podendo ser unilaterais ou bilaterais. A incidência da deficiência transversal de maxila nas dentições decídua e mista varia entre 8% e 18% em pacientes que se apresentam para consultas ortodônticas (da Silva Filho *et al.*, 1991). Essa deformidade pode resultar em comprometimento estético e funcional do paciente, como corredores bucais evidentes, apnéia e disfunções têmporomandiulares (Betts & Ziccardi, 2000). Essa deformidade é comumente encontrada em pacientes não sindrômicos e sindrômicos, adolescentes e adultos, incluindo aqueles com fissuras lábio-palatinas (Koudstaal *et al.*, 2005).

O tratamento para a deficiência transversa de maxila é a expansão rápida de maxila (ERM). Esse procedimento pode ser realizado por meio de ortopedia ou em associação com a cirurgia, dependendo da idade do paciente, da ossificação da sutura palatina mediana e da discrepância dento-esquelética. Durante a ERM, uma grande força é aplicada sobre o esqueleto fixo do crânio por meio de um torno de expansão unido aos dentes anteriores e posteriores, resultando no deslocamento das duas metades da maxila à custa da sutura palatina mediana (Davis & Kronman, 1969). Quando é necessário submeter um paciente à cirurgia para expandir a maxila, esse procedimento passa a se chamar expansão rápida de maxila cirurgicamente assistida (ERMCA). Para realizar a ERMCA em adultos é necessário diminuir a resistência de algumas estruturas ósseas por

meio de osteotomias (Byloff & Mossaz, 2004). A cirurgia é necessária devido à redução da elasticidade óssea no paciente adulto, ao aumento da espessura das estruturas ósseas e a maior ossificação da sutura palatina mediana (Basdra *et al.*, 1995; Knaup *et al.*, 2004). Existe na literatura a discussão sobre a necessidade ou não de disjunção ptérigomaxilar. Bays & Greco (1992) apresentaram resultados estáveis em 19 pacientes após realizarem a ERMCA sem disjunção ptérigomaxilar. Betts *et al.* (1995) argumentaram em seu estudo que a estabilidade pós-operatória é melhor quando todos os pilares de resistência da maxila são rompidos.

As indicações para a ERMCA são pacientes que apresentam maturidade esquelética com discrepância maxilo-mandibular maior que cinco milímetros e que necessitam de aumento do perímetro do arco para correção de mordidas cruzadas isoladas ou não; aumento do arco maxilar previamente à osteotomia Le Fort I, visando maior estabilidade e previsibilidade de movimentos; criação de espaços para correção de apinhamento dentário no arco maxilar; expansão da maxila em pacientes com fissuras lábio-palatinas; redução dos corredores bucais e expansão do arco maxilar, quando houver falha da expansão ortopédica (Suri & Taneja, 2008); e em pacientes com doença periodontal que necessitam de expansão do arco maxilar (Fernandez-Sanromán *et al.*, 2010).

Ainda não existe consenso na literatura sobre qual o procedimento cirúrgico ideal para a ERMCA, visando maior estabilidade e menos complicações. Até o momento, a realização de uma osteotomia Le Fort I sem realizar o movimento de *downfracture* ou abaixamento da maxila, liberando inclusive os processos pterigóideos do osso esfenoide parece ser o procedimento com menores chances de recidiva, apesar da maior frequência de complicações. As suturas tendem a ser locais de concentração de tensões e o comportamento biológico destas estruturas ainda não é totalmente compreendido. Assim



sendo, a utilização de modelos mecânicos e matemáticos pode auxiliar a resolução dessas questões.

A ERMCA utiliza tradicionalmente os expansores dento-suportados, dento-muco-suportados ou ósseo-suportados. Esses expansores promovem a distração osteogênica da sutura palatina mediana através da aplicação de forças ortopédicas na maxila por meio dos expansores citados acima. A utilização dos expansores com ancoragem dental apresenta complicações como doença periodontal localizada, reabsorção radicular, fenestração óssea, rotação de segmentos dentais e alveolares, perda de ancoragem e recidiva da atresia transversa da maxila (Shetty *et al.*, 1994).

Maxilas com extrema atresia ou doença periodontal podem impedir a utilização de expansores com ancoragem dental. Para prevenir essas complicações, alguns expansores de ancoragem óssea têm sido desenvolvidos, como o *Transpalatal Distractor* - TPD (Koudstaal *et al.*, 2006-A), o distrator de Rotterdam (Koudstaal *et al.*, 2006-B) ou o expensor de Hyrax com ancoragem óssea apenas (Lida *et al.*, 2008). Esses expansores apresentam como vantagem o reduzido risco de movimentação dental devido à ancoragem óssea, maior controle da expansão desejada e permitem o tratamento ortodôntico simultâneo. As desvantagens desses expansores são: custo elevado, a maior dificuldade técnica em adaptá-los no palato, maior dificuldade em controlar os vetores da distração (Koudstaal *et al.*, 2006-B).

Esse estudo aborda duas discussões da literatura. A primeira em relação à disjunção ptérigomaxilar, na qual vários estudos biomecânicos demonstraram sua necessidade para a estabilidade do procedimento (Shetty *et al.*, 1994; Holberg *et al.* 2007-B), porém, estudos clínicos mostraram resultados opostos, em que essa osteotomia não foi necessária (Seeberger *et al.*, 2010). A segunda discussão aborda o comportamento mecânico dos expansores dento-suportados e ósseo-suportados em simulações de ERMCA

em crânios de resina fotoelástica. Apesar de um grande volume de estudos clínicos, apenas um estudo laboratorial publicado por Koudstaal *et al.* (2009-B) apresentou informações sobre a biomecânica de diferentes aparelhos utilizados na ERMCA. Embora a ERMCA apresente poucas complicações com o uso do expansor Hyrax, efeitos indesejáveis tais como vestibularização, extrusão e reabsorção radicular dos dentes utilizados para ancoragem são relatados, tornando importante o estudo de métodos de ancoragem alternativos, como a ancoragem esquelética.

Embora a expansão cirúrgica da maxila apresente poucas complicações com o uso de aparelho expansor Hyrax, efeitos indesejáveis tais como vestibularização, extrusão e reabsorção radicular dos dentes utilizados para ancoragem são relatados, tornando importante o estudo de métodos de ancoragem alternativos. Dessa forma, o objetivo nesse estudo foi realizar um estudo fotoelástico qualitativo comparando diferentes ancoragens utilizadas na ERMCA.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Expansão Rápida da Maxila Cirurgicamente Assistida**

A expansão rápida de maxila foi inicialmente descrita por Angell em 1860 (Angell, 1860) para o tratamento das deficiências transversais de maxila. O procedimento foi realizado em uma adolescente de quatorze anos usando um parafuso expensor apoiado em dentes maxilares. Apesar de ser inicialmente considerado um procedimento de resultados duvidosos, foi reintroduzida por Haas na década de sessenta (Haas, 1961; Haas, 1965).

O motivo pelo qual a expansão ortopédica da maxila não ocorre em adultos é a ossificação e consequente aumento da resistência das suturas ósseas do crânio e face (Isaacson *et al.*, 1964- A; Isaacson *et al.*, 1964-B). Wright (1911) descreveu o fechamento completo da sutura palatina após os 35 anos de idade. Sicher & Dubrul (1991) relataram que as suturas do esqueleto facial iniciam seu fechamento após a quarta década de vida e que a primeira sutura a se fechar é o limite posterior da sutura palatina mediana. De acordo com Silverstein & Quinn (1997), uma vez que o paciente atinge a maturidade esquelética, somente o tratamento ortodôntico não é capaz de fornecer abertura estável da maxila com deficiência transversa maior que cinco milímetros e a cirurgia torna-se necessária para completar o tratamento.

A técnica cirúrgica para ERMCA envolvendo a separação da maxila em duas metades pela sutura palatina mediana foi descrita inicialmente em por Brown em 1938. A evolução das técnicas cirúrgicas para realizar a ERMCA variou de acordo com os conceitos dos cirurgiões sobre qual era a maior área de resistência à expansão da maxila.

Haas (1961) descreveu o movimento anterior e inferior da maxila após a ERM devido à localização das suturas dos ossos faciais. Esse mesmo autor relatou que a expansão das metades da maxila não ocorria de modo paralelo, e sim com rotação látero superior devido à resistência da crista zigomática. Isaacson & Ingram (1964-A) e Isaacson *et al.* (1964-B) atribuíram à sutura palatina mediana a maior resistência à expansão. Bell & Epker (1976) relataram que as áreas de maior resistência à expansão rápida de maxila são as suturas zigomaticotemporal, zigomaticofrontal e zigomaticomaxilar. Em 1969, Converse & Horowitz preconizaram o uso de osteotomias vestibulares e palatinas para realizar a expansão maxilar.

Considerando que o objetivo da cirurgia para expansão maxilar é eliminar áreas de resistência à expansão e permitir a separação da maxila através da sutura palatina mediana, vários estudos foram publicados relatando outras áreas de resistência óssea no esqueleto fixo da face (Melsen, 1975; Kennedy *et al.*, 1976; Bell & Jacobs, 1979; Timms & Vero, 1981).

No estudo de Kennedy (1976), osteotomias seletivas foram realizadas em macacos *Rhesus* e a influência da osteotomia lateral de maxila e da disjunção ptérigomaxilar com e sem separação da sutura palatina mediana mostraram diferenças significativas. A conclusão desse estudo foi que reduzindo ou eliminando a resistência ao movimento lateral por osteotomias, a expansão do osso basal da maxila ocorreu sem intercorrências.

A crista zigomática e os pilares pterigóideos também foram mencionados como os locais de resistência à expansão (Kennedy *et al.*, 1976; Bell & Jacobs, 1979). Baseados nas teorias acima sobre as áreas de resistência do esqueleto facial e ossificação das suturas da face, surgiram várias técnicas para realizar a ERMCA.

Timms & Vero (1981) sugeriram a existência de três idades que definem diferentes necessidades para realizar a ERMCA. Em pacientes com até 25 anos de idade o tratamento consistia na osteotomia da sutura palatina mediana. Em pacientes entre 25 e 40 anos de idade, foram realizadas osteotomias da sutura palatina mediana e paredes laterais da maxila. Em pacientes acima de 40 anos, osteotomias da sutura palatina mediana, paredes laterais da maxila e na região anterior da maxila eram necessárias.

Vários autores afirmaram que a osteotomia do pilar zigomático é suficiente para permitir a expansão lateral da maxila (Lehman *et al.*, 1984; Glassman *et al.*, 1984). Muitos cirurgiões recomendaram que a ERMCA fosse realizada através de osteotomias da parede lateral e linha média da maxila, sem disjunção ptérigomaxilar. Bays & Greco (1992) relataram que em um estudo com 33 pacientes entre 19 e 30 anos houve recidiva de 8,8% em caninos e 7,7% nos molares. Esses autores concluíram que a ERMCA sem disjunção ptérigomaxilar, realizada em ambiente ambulatorial, é passível de ser realizada com resultados estáveis a longo prazo. Outros autores também apresentaram resultados semelhantes quando a ERMCA foi realizada sem disjunção ptérigomaxilar (Pogrel *et al.*, 1992; Northway & Meade, 1997; Pinto *et al.*, 2001; Marin *et al.*, 2007).

Kraut (1984), Betts *et al.* (1995) e Betts & Zicardi (2000) recomendaram a osteotomia lateral da maxila, dos processos pterigóideos até a abertura piriforme, associada à ruptura da sutura palatina mediana da espinha nasal anterior à espinha nasal posterior, disjunção pterigomaxilar e osteotomia do septo nasal. Dessa forma, todas as articulações e zonas de resistência são seccionadas, diminuindo a possibilidade de recidiva. Esses autores recomendam ainda a osteotomia paralela ao plano oclusal com um degrau na crista zigomática para prevenir interferências durante a expansão.

A ERMCA foi classificada como um processo de distração osteogênica (Koudstaal *et al.*, 2005). Descrita inicialmente por Codivilla em 1905 e popularizada por

Ilizarov em 1990, a distração osteogênica se inicia após um período de repouso em seguida à osteotomia. Esse período permite a formação inicial do calo ósseo sem que ocorra a consolidação. Sucede-se a formação de um hematoma fibrovascular seguido de formação de fibras colágenas paralelas ao vetor de distração 5 a 7 dias após a cirurgia. Após isso, inicia-se a ossificação intramembranosa ao longo das fibras colágenas recém formadas, uma vez que a tensão gerada nos tecidos estimula a diferenciação de células mesenquimais em osteoblastos. Uma vez encerrada a fase de ativação da expansão, o osso de origem intramembranosa passa por fase de remodelação, sendo que aproximadamente 60 dias após observa-se a formação de osso sólido e compacto na sutura.

Os estudos mais recentes sobre a ERMCA buscam elucidar quais as zonas de maior resistência e o potencial de recidiva do procedimento. Chamberland & Proffit (2008) relataram aproximadamente 1/3 de recidiva do movimento após expansão palatina, medido a partir do ponto de maior expansão da maxila, realizando uma osteotomia que incluía todas as áreas de resistência da maxila.

Marin *et al.* (2009) publicaram um estudo em que foram realizadas ERMCA sem a disjunção ptérigomaxilar em pacientes acima de 25 anos, com acompanhamento de um ano. Apesar de ter havido recidiva, essa não foi estatisticamente significativa e não interferiu no resultado oclusal final. Seeberg *et al.* (2009) publicaram um estudo de longo prazo mostrando resultados clínicos satisfatórios e sem recidiva a longo prazo após realizarem a ERMCA sem disjunção ptérigomaxilar.

## **2.2 Expansores Utilizados na Expansão Rápida da Maxila Cirurgicamente Assistida**

Os expansores utilizados na ERMCA são de grande importância para realizar e estabilizar o movimento de expansão. Existem três tipos de expansores para a ERMCA que são universalmente reconhecidos na literatura: o dento-muco suportado (Haas), o dento-suportado (Hyrax) e as variações do ósseo-suportado. Os expansores que utilizam ancoragem dental usualmente são fixados a um torno e aplicam forças sobre os dentes e estruturas de suporte para, mecanicamente, separar a maxila em duas metades por meio da sutura palatina mediana (da Silva Filho *et al.*, 1991). Esses expansores produzem forças ortopédicas e ortodônticas capazes de causar vestibularização dos dentes ancorados e dos processos alveolares (da Silva Filho *et al.*, 1991; Ciambotti *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2004).

O expensor de Haas foi desenvolvido por Andrew Haas em 1961, que enfatizou a importância da placa de acrílico no palato para a transmissão de forças de modo eficiente, e, dessa maneira, promover um movimento ortopédico adequado e mais estável após a expansão rápida da maxila. Esse expensor consiste em uma armação metálica com um torno central para expansão associada a duas placas de acrílico, apoiando-se em dentes e mucosa palatina. Muitos estudos sobre a ERMCA utilizaram o expensor de Haas e relataram resultados satisfatórios sem efeitos adversos (Kennedy *et al.*, 1976; Capellozza *et al.*, 1994; Northway & Meade, 1997; Chung & Goldman, 2003). Entretanto, Lehman & Haas (1990) e Anttila *et al.* (2004) relataram a necrose da mucosa palatina, causada por compressão da placa de acrílico sobre a mucosa.

O expensor de Hyrax foi introduzido por Biederman (1968) e consiste em uma armação de metal com um torno central para expansão com apoio apenas em dentes. Esse autor observou que o expensor apresentava maior facilidade para higienização que o

expansor de Haas, porque o primeiro evita o acúmulo de restos de alimentos e a irritação da mucosa palatina. Alguns estudos que avaliaram o uso do expansor de Hyrax durante a ERMCA revelaram resultados satisfatórios (Biederman, 1968; Bays & Greco, 1992; Schimming *et al.*, 2000; Wriedt *et al.*, 2001). Porém, Glassman *et al.*, (1984) relataram como complicação a extrusão dentária dos dentes de ancoragem e Braun *et al.* (2000) enfatizaram que o expansor Hyrax não apresentava rigidez suficiente devido a sua armação de metal, causando inclinação indesejável dos dentes de suporte.

Existem os expansores que utilizam apenas ancoragem óssea e se baseiam nos princípios da distração osteogênica para realizar a expansão palatina, como o expansor de Rotterdam (RPD; KLS Martin, Postfach 60, D-78501 Tuttlingen, Germany) ou o distrator trans-palatino (Surgi-Tec, Bruges, Belgium). Esses expansores são indicados para pacientes desdentados ou dentados que apresentam comprometimento periodontal que impede a ancoragem ortodôntica (Aziz & Tanchyk, 2008).

Os expansores ósseo-suportados são fixados em nível mais alto no palato duro, fazendo com que toda a expansão da maxila seja ortopédica. Como todas as forças são diretamente exercidas sobre o osso, os efeitos indesejáveis de vestibularização de dentes e reabsorções radiculares não irão ocorrer. (Mommaerts, 1999; Neyt *et al.*, 2002; Kouldstaal, 2005). As vantagens desses expansores sobre os aparelhos convencionais incluem ancoragem óssea direta, criando expansão ortopédica apenas, ausência de vestibularização dos dentes, ausência de trauma periodontal com reabsorção radicular, perfil baixo facilitando a sua ativação, podem ser colocados em maxilas extremamente estreitas, não havendo necessidade de parafusos ou bandas para sua contenção e facilidade de remoção do aparelho sob anestesia local (Aziz & Tanchyk, 2008).

De acordo com Davidovitch *et al.* (2005), a ancoragem está diretamente associada aos efeitos ósseos e alveolares. Em seu estudo em pacientes com dentição



mista, expansores com quatro bandas apresentam maior expansão dental óssea que pacientes que utilizaram expansores com apenas duas bandas. Complicações associadas à utilização dos expansores com ancoragem dental incluem recessão gengival, reabsorção radicular (Shetty *et al.*, 1994), rompimento do ligamento periodontal, extrusão de dentes utilizados como ancoragem, vestibularização excessiva de dentes (Merha *et al.*, 1999) e alteração do fluxo sanguíneo pulpar (Ozturk *et al.*, 2003).

Ramieri *et al.* (2005) compararam as complicações periodontais entre os expansores dento-suportado e ósseo-suportado através de acompanhamento clínico e radiográfico e concluíram que o distrator ósseo causa menor perda periodontal nos incisivos centrais superiores que o expansor dento-suportado. A provável explicação, dada pelos autores, foi que o expansor dento-suportado exerce forças de expansão lateral sobre o ligamento periodontal de todos os dentes da maxila, causando alterações periodontais e reabsorção radicular, enquanto que o expansor ósseo-suportado exerce sua força de expansão diretamente sobre o osso palatino.

Em um estudo radiográfico conduzido por Bretos *et al.* (2007) foram avaliadas as alterações da posição vertical e sagital da maxila que os expansores Haas e Hyrax exerciam após a ERMCA. Os resultados desse estudo não revelaram diferença estatística na posição sagital da maxila entre os dois expansores. Nenhum dos dois grupos estudados também mostrou alterações verticais após a ERMCA.

Tausche *et al.* (2007) compararam através de tomografia computadorizada as mudanças dentais, alveolares e esqueléticas com ancoragem óssea (Distrator Dresden). Esses autores demonstraram padrão de abertura em V da sutura palatina, com maior abertura na região anterior. O arco dental demonstrou padrão de abertura similar ao da sutura palatina. Houve também um padrão de abertura piramidal na análise frontal, com os incisivos apresentando-se como base da pirâmide e a sutura frontonasal como ápice.

Houve maior expansão dos processos alveolares que vestibularização dos dentes. Esses autores concluíram que o distrator utilizado causa mais efeitos ósseos que dentais e que esses efeitos podem estar associados à maior estabilidade da oclusão final.

Hino *et al.* (2008) compararam os efeitos que os expansores Haas e Hyrax exerciam sobre o osso e os dentes após a ERMCA através de radiografias e modelos de estudo em gesso. Ambos os grupos revelaram um aumento da distância intermolar e a ocorrência de inclinação vestibular dos molares. A expansão aumentou em 71% a largura da maxila. A média entre a quantidade de ativação do expansor e o aumento da largura da maxila foi de 69% para o Haas e 74,5% para o Hyrax. Clinicamente, os efeitos transversais dos expansores foram semelhantes.

Lida *et al.* (2008) utilizaram um torno de expansão análogo ao utilizado na confecção dos expansores de Haas e Hyrax de modo semelhante a um expansor ósseo-suportado, porém soldando-se aos braços do torno expansor quatro anéis que permitiram a inserção de parafusos e fixação do conjunto no palato. Os autores relataram sucesso nesse tipo de construção e apresentaram como vantagem o baixo custo do mesmo.

Em um estudo clínico e tomográfico Landes *et al.*, (2009) sugeriram que a ancoragem em dentes durante a ERMCA deve ser indicada em pacientes que apresentem boas condições periodontais e que expansores ósseo-suportados com ancoragem óssea devem ser indicados em pacientes com arco maxilar muito estreito e com poucos dentes.

Koudstaal *et al.* (2009-A) apresentaram um estudo clínico randomizado e controlado comparando a estabilidade, a vestibularização e a recidiva entre um expansor dento-suportado e um expansor ósseo-suportado utilizados na ERMCA. Esses autores relataram que não houve diferença significativa entre os grupos e que a recidiva não foi significativa. Houve grande aumento da distância intermolares e vestibularização dental

em ambos os grupos. O estudo concluiu que a expansão dental foi estável por 12 meses e que a sobrecorreção não foi necessária. A vestibularização dos dentes foi similar em ambos os grupos e não influenciou na recidiva. Dessa forma os autores recomendaram períodos de retenção semelhantes.

Koudstaal *et al.* (2009-B) realizaram um estudo biomecânico anatômico comparando o expensor de Hyrax com o distrator de Rotterdam. Esses autores concluíram que a quantidade de vestibularização dental foi maior no grupo que utilizou o expensor dento suportado, mas as diferenças não foram significativas. Também concluíram que houve vestibularização dental em ambos os grupos estudados e sugeriram que sobrecorreção da mordida cruzada deve ser realizada independente da modalidade de expensor utilizado.

Fernández-Sanromán *et al.* (2010) utilizaram expansores mistos e personalizados, com ancoragem óssea e dental em oito pacientes que necessitavam de ERMCA. Esses autores demonstraram um aumento significativo das regiões anterior e posterior da maxila e não houve complicações. Esses autores concluíram que os expansores personalizáveis são práticos e fáceis de manusear, apresentaram resultados previsíveis e estáveis em pacientes com doença periodontal.

Verstraaten *et al.* (2010), em uma revisão sistemática da literatura sobre as diferenças entre os expansores ósseo-suportados e dento-suportados relataram que existe pouca evidência à favor da menor vestibularização dos dentes em expansores ósseo-suportados e sugeriram que estudos controlados e randomizados sejam realizados para descrever e comparar os efeitos desses dois tipos de expansores para a ERMCA.

## **2.3 Distribuição de Tensões no Esqueleto Facial durante a Expansão Rápida de Maxila Cirurgicamente Assistida**

Dechow (1994) sugeriu que variações na localização dos braços de alavanca dos expansores ortopédicos para expansão utilizados podem causar diferentes distribuições de força nas regiões anterior e posterior da maxila, sendo importante avaliar se o tipo de expensor utilizado interfere na ERMCA, devido as suas características, efeitos sobre os dentes e ossos e o seu custo.

As áreas de resistência à expansão da maxila são classificadas como a região de suporte anterior (pilar canino ou da abertura piriforme), o suporte lateral (pilar zigomático), o suporte posterior (processos pterigóideos do osso esfenóide) e o suporte medial (sutura palatina mediana). Atualmente, a distribuição de forças nos ossos e suturas faciais é estudada por meio de análise de elementos finitos (AEF) e análise fotoelástica. Estas metodologias vêm sendo amplamente utilizadas para investigar a distribuição de forças no campo da medicina, no qual simulações clínicas são difíceis ou impossíveis de serem realizadas (Holberg *et al.*, 2007 A e B).

O primeiro estudo de análise de elementos finitos sobre expansão rápida de maxila cirurgicamente assistida foi publicado por Holberg *et al.* (2007 B). Esse autor analisou a distribuição de forças na face e base de crânio após simular um procedimento de ERMCA e concluiu que os processos pterigóideos devem ser separados da maxila.

Han *et al.* (2008) simularam cinco procedimentos cirúrgicos diferentes de AEF e concluiu que a osteotomia Le Fort I associada a osteotomia paramediana com disjunção ptérigomaxilar é um procedimento efetivo para facilitar a expansão da maxila, com poucos efeitos prejudiciais as raízes dentais devido a forças aplicadas sobre os dentes utilizados como ancoragem do expensor.

### **2.3.1 Utilização da Análise Fotoelástica em Expansão Rápida de Maxila Cirurgicamente Assistida**

A técnica de análise fotoelástica na área de Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Faciais vem sendo empregada desde 1975, e os estudos procuram analisar os padrões de tensão nos ossos da face humana dentada e desdentada (Ralph, 1975; Ralph & Caputo, 1975; Mongini *et al.*, 1979), validar diversos métodos de osteossíntese utilizados no tratamento das fraturas (Niederdelmann *et al.*, 1975; Karasz *et al.*, 1986; Rudman *et al.*, 1997), investigar métodos de fixação de osteotomias utilizadas em cirurgia ortognática (Sato *et al.*, 2010), pesquisar métodos de fixação de enxertos ósseos (Ewers & Schilli, 1979), definir áreas do esqueleto maxilofacial propensas a fraturas (Lehman, 1972), avaliar a distribuições de tensões pelos músculos da mastigação (Alexandridis *et al.*, 1985) e, por fim, avaliar a expansão cirúrgico-ortodôntica de maxila (Shetty *et al.*, 1994; Kusakabe, 2007).

Chaconas & Caputo (1982) realizaram um estudo construindo crânios em resina fotoelástica, duplicados a partir de um crânio humano. Os ossos foram moldados individualmente e depois unidos com a própria resina fotoelástica. Esses autores utilizaram quatro diferentes expansores fixos (Haas, Minne-expander, Hyrax e Quadri-helix e um removível, consistindo de uma placa de Hawley associada a um parafuso expensor). O objetivo do estudo foi analisar a distribuição de forças ortopédicas produzidas no esqueleto facial por diferentes expansores. Os cinco expansores foram submetidos a testes de carregamento previamente à análise fotoelástica e todos os expansores fixos geraram forças ortopédicas (> 500 g) capazes de expandir a maxila. A análise fotoelástica revelou que as forças desses expansores fixos se concentravam na região anterior da maxila, posteriormente se expandindo para o osso palatino, lacrimal, nasal, zigomático e processos pterigóides. O expensor removível se mostrou o menos efetivo na geração de forças.

Shetty *et al.* (1994) utilizando metodologia semelhante a de Chaconas & Caputo (1982) para confecção do crânio em resina fotoelástica tiveram como objetivo desenvolver uma sequência lógica de correção da deficiência transversa de maxila em adultos, simulando o procedimento cirúrgico durante a análise fotoelástica. O expansor utilizado foi o Hyrax, o qual foi submetido a testes de carregamento e apresentou forças ortopédicas efetivas (> 500 g). A análise fotoelástica revelou que a sutura palatina e a sutura ptérigomaxilar são as principais zonas de resistência à expansão. As forças apresentaram maior distribuição e magnitude nas regiões superiores do crânio após disjunção ptérigomaxilar. Esses autores sugeriram a realização de osteotomia da sutura palatina e dos processos pterigóideos para realizar a expansão ortopédica em adultos.

Kusakabe *et al.* (2007) avaliaram os efeitos biomecânicos da ERMCA em um modelo fotoelástico de um paciente portador de fissura lábio palatina. Esses autores observaram que com os pilares pterigóideos intactos, as maiores concentrações de forças localizavam-se nas suturas zigomaticomaxilar e zigomaticofrontal, com maiores intensidades no lado sem fissura. A concentração de forças nos pilares pterigóideos evidencia a resistência desta estrutura à expansão cirúrgica. Após separar ambos os processos pterigóideos, houve uma diminuição na concentração de forças nas suturas zigomaticomaxilar e zigomaticofrontal. Esses autores concluíram que os processos pterigóideos atuaram como as principais zonas de resistência à expansão, sugerindo a disjunção pterigomaxilar durante os procedimentos cirúrgicos para facilitar a expansão.

Lima Jr *et al.* (2011) apresentaram um estudo no qual demonstraram a incidência de forças sobre dentes e estruturas fixas do crânio durante várias etapas da ERMCA. Esses autores concluíram que a separação dos processos pterigóideos é necessária em estudos biomecânicos, porém salientaram que alguns estudos clínicos recentes apresentaram resultados estáveis a longo prazo sem disjunção ptérigomaxilar e que a expansão com disjunção ptérigomaxilar pode não ser necessária em todos os casos.

## 2.4 Princípios de Análise Fotoelástica

Dally & Riley (1978) relataram que certos materiais, principalmente plásticos, comportam-se homogeneamente quando isentos de tensões, mas tornam-se heterogêneos quando são submetidos a uma tensão e que a mudança no índice de refração ocorre em função da tensão aplicada nesse material. Portanto, a principal característica dos materiais fotoelásticos é que esses materiais respondem às tensões/deformações por meio de uma mudança nos índices de refração nas direções das tensões principais.

Dally & Riley (1978) descreveram os efeitos ópticos dos materiais fotoelásticos. As cores do espectro visível variam do vermelho, com comprimento de onda entre 630 e 700 nm, ao violeta com comprimento de onda entre 400 e 450 nm. A luz branca apresenta diferentes comprimentos de onda, que através de filtros pode ser polarizada em diferentes comprimentos, ou seja, em diferentes cores (Figura 1). Utilizando-se a luz branca, os efeitos ópticos se manifestam como franjas coloridas que possuem um número de ordem, dependendo da intensidade da carga. A ordem de coloração das franjas em um ponto está relacionada com o estado de tensão no modelo, descrita como a "Lei Óptica das Tensões".

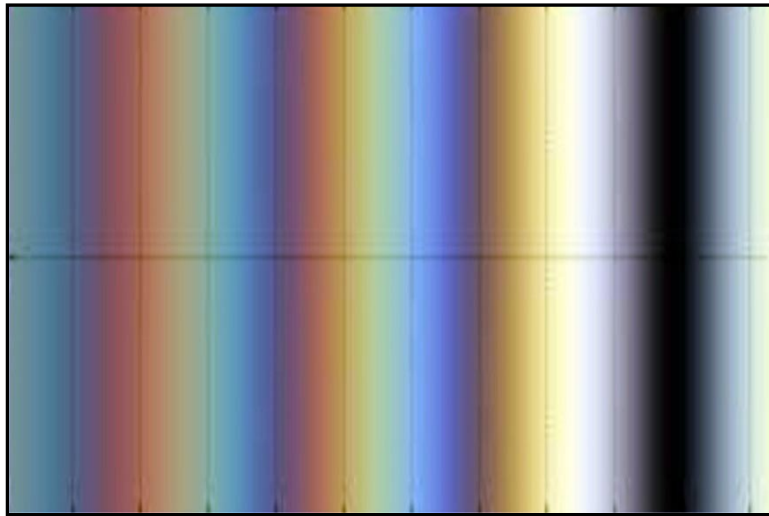


Figura 1 – Ordem das franjas isocromáticas observadas em um polariscópio plano.

Fonte: Araújo *et al.*, 2004

Em um estudo comparativo entre as metodologias disponíveis para avaliar a distribuição de forças, Karl *et al.* (2008) relataram que as vantagens do uso da análise fotoelástica para testes mecânicos são: sua facilidade de uso e baixo custo em relação às outras técnicas, permitindo uma visão geral do problema biomecânico que está sendo avaliado e revela a incidência de cargas em todo o objeto. São desvantagens a impossibilidade de utilização *in vivo*, a presença de tensão residual em algumas áreas, que pode dificultar a interpretação de resultados e não permite cálculo do valor da força estudada.



### 2.4.1 Modelos de Polariscópios

A associação de filtros dispostos entre o observador, a fonte luminosa e o modelo permitem a visualização do fenômeno de aplicação de tensão/deformação. Tais filtros compõem um expansor denominado polariscópio que promove a polarização da luz que o atravessa. A luz polarizada permite observação das tensões por meio da interpretação das imagens que compõem os parâmetros ópticos (Araújo *et al.*, 2004)

A figura abaixo, publicada por Araújo *et al.* (2004) exemplifica o funcionamento de um polariscópio plano. A vibração associada à luz é perpendicular à direção de propagação. Uma fonte de luz emite ondas contendo vibrações transversais à direção de propagação. Com a introdução de um filtro polarizador (p) no caminho das ondas de luz, somente um componente dessas vibrações será transmitido (aquele paralelo ao eixo de polarização do filtro). Esse feixe orientado é chamado de luz polarizada. Se outro filtro polarizador (q) for colocado em sua trajetória, pode-se obter uma extinção completa do feixe se os eixos de polarização dos dois polariscópios estiverem perpendiculares entre si (Figura 2).

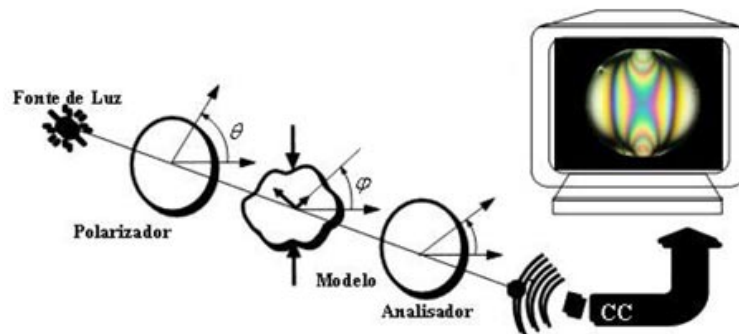


Figura 2 – Polarização dos feixes de luz através de dois filtros em um polariscópio plano.

Fonte: Araújo *et al.*, 2004

O Polariscópio Plano convencional é constituído de uma fonte de luz, duas placas polarizadoras de luz sendo uma definida como polarizadora e a outra como analisadora. Nesse equipamento a posição padrão é aquela em que os eixos de polarização dos filtros estão cruzados. Nesta situação, se não houver um modelo sob tensão entre o polarizador e o analisador, a intensidade de luz emergindo do polariscópio será zero ou “campo escuro”. Ao contrário, se os eixos do polarizador e do analisador estiverem paralelos e não houver modelo sob tensão entre os filtros, toda a luz emergirá do polariscópio, ou seja, tem-se “campo claro” (Araújo *et al.*, 2004).

### **3 PROPOSIÇÃO**

O objetivo nesse estudo foi avaliar por meio de modelos fotoelásticos de um crânio humano a simulação da expansão rápida de maxila cirurgicamente assistida, comparando três tipos de ancoragem, analisando a distribuição de forças, com e sem disjunção ptérigomaxilar.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

Esse estudo consistiu da análise fotoelástica comparativa de três métodos de ancoragens diferentes utilizados na ERMCA. O primeiro é o expensor de Hyrax tradicional, com bandas em primeiros pré-molares e primeiros molares superiores. O segundo expensor é uma modificação do Hyrax tradicional, chamada de Hyrax modificado, com braquetes ortodônticos, além da ancoragem com bandas entre canino e segundo molar unidos a um fio retangular rígido passivamente adaptado e o terceiro expensor analisado foi o distrator de Rotterdam. Foram utilizadas réplicas de crânio humano confeccionados em resina fotoelástica nesse estudo. A descrição da metodologia segue abaixo.

### **4.1 Confeção das Réplicas de Crânio em Resina Fotoelástica**

Os três crânios em resina fotoelástica foram confeccionados através de moldes pré-fabricados de silicone, produzidos pela empresa Nacional Ossos (Franceschi & Costa e Silva Ltda. – Jaú, São Paulo – Brasil). Com o objetivo de replicar as cavidades que o crânio possui (seio maxilar, cavidade nasal e órbita), o crânio foi confeccionado em duas metades. A metade inferior continha os dentes, a maxila, o osso palatino, o seio maxilar, os processos pterigóideos, a metade inferior do arco zigomático, o osso vômer e se estendia da oclusal dos dentes maxilares até uma linha reta que se localizava logo abaixo da órbita (Figura 3). A metade superior se estendia desta linha logo abaixo da órbita até o ponto cefalométrico vértex (ponto craniométrico mais superior da calota craniana na linha média), contendo os ossos da órbita (zigoma, maxila, lacrimal, etmóide, frontal, esfenóide e palatino), os ossos nasais, lâmina perpendicular do etmóide completando o septo nasal, e a metade anterior dos ossos parietais (Figura 4). Esses moldes permitiram a confecção dos três análogos de crânio utilizados nesse estudo.



Figura 3 – Molde de silicone leve e contra molde de material de isolamento térmico utilizados para confeccionar a porção inferior do crânio em resina fotoelástica. A massa azul é composta de modeline para evitar o escape de resina. O extravasamento de resina ao se fechar a caixa sob pressão ocorreu através das perfurações em sua tampa.



Figura 4 – Molde de silicone leve e contra molde de material de isolamento térmico utilizados para confeccionar a porção superior do crânio em resina fotoelástica. A massa azul é composta de modeline para evitar o escape de resina. O extravasamento de resina ao se fechar a caixa sob pressão ocorreu através das perfurações em sua tampa.

Foi utilizada a resina GY-279 Araldite (Araltec Produtos Químicos Ltda., Guarulhos – São Paulo, Brasil) modificada, com diluído reativo, de baixa até média viscosidade, formulada à base de Bisfenol A, e um endurecedor HY 2963 Araldite (Araltec Produtos Químicos Ltda., Guarulhos – São Paulo, Brasil) à base de amina cicloalifática, modificado, de baixa viscosidade, o que permite maior aplicação e manuseio. Esta resina se apresenta transparente, com alto brilho, sem exsudação e com propriedades fotoelásticas após a cura.

A proporção da mistura recomendada é de 100 partes de GY 279 para 48 partes de HY 2963. A metade inferior do crânio necessitou de 64 gramas de resina para sua confecção, e a metade superior de 142 gramas de resina, em um total de 186 gramas. Portanto, foram manipulados 131 gramas de resina GY 279 para 55 gramas de endurecedor HY 2963 para cada crânio. O material foi manipulado em recipiente plástico com bastão de vidro até completa homogeneização, de modo constante e ininterrupto, para evitar a incorporação de bolhas de ar à mistura e posteriormente levado a câmara de vácuo para eliminar as bolhas de ar que persistiram.

A mistura resina/endurecedor foi vertida no interior dos moldes de silicone. O tempo estimado para essa mistura alcançar a cura é de 72 horas. Após esse período, os moldes de crânio foram removidos do silicone (Figura 5). As duas metades do crânio foram então unidas em pequenos pontos com cola de cianoacrilato (Superbonder, Loctite Henkel Brasil, Diadema, Brasil) para estabilizar a montagem e com a própria resina GY 279 e HY 2963 (Figura 6).

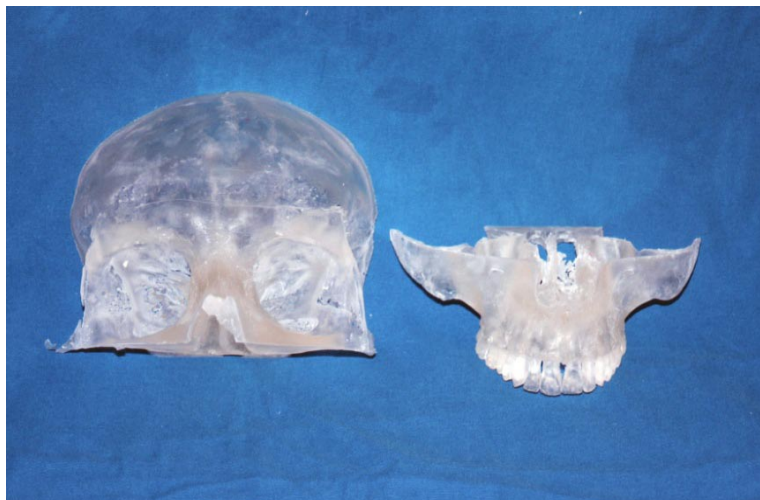


Figura 5 – Metades superior e inferior dos crânios em resina fotoelástica.



Figura 6 – Crânio de resina fotoelástica montado.

Após a cura da resina utilizada para colagem das duas metades do crânio, foram realizados desgastes nas interproximais dos primeiros pré-molares e primeiros molares superiores para adaptação passiva dos expansores dento-suportados. Todos os desgastes foram realizados com disco de carborundum sob irrigação constante, sendo um disco para cada crânio (Figura 7). Para adaptação do distrator de Rotterdam não foi necessário nenhum desgaste.



Figura 7— Desgastes interproximais dos dentes com disco de carborundum em peça reta.

## **4.2 Confeção dos Expansores Hyrax e Adaptação do Distrator de Rotterdam**

Foram confeccionados dois tipos de expansores Hyrax para a realização dos testes fotoelásticos da ERMCA. Os modelos utilizados nesta fase foram obtidos a partir da moldagem do crânio utilizado no experimento de análise fotoelástica, descrito no item 4.1. Para obtenção destes moldes foram utilizados alginato e gesso especial tipo IV. Os expansores foram montados por um técnico em prótese dental. Foram montados dois tipos diferentes de ancoragem, descritos abaixo:



1. Modelo Hyrax tradicional (Figura 8): expansor ortodôntico dento-suportado, contendo torno central de expansão de 11 (onze) milímetros (Morelli Ortodontia, ref 65.05.012), localizado na cervical entre o primeiro e segundo pré-molares, sendo que cada quarto de volta do aparelho significa uma expansão de 0,25 milímetros. Possui quatro braços de alavanca de orientação centrífuga em relação ao parafuso central, onde as bandas de ancoragens são soldadas. O expansor foi confeccionado de modo que o parafuso central de expansão ficasse posicionado entre os pré-molares superiores, ao nível cervical. A ancoragem foi feita através de bandas ortodônticas apoiadas em primeiros pré-molares e primeiros molares superiores.



Figura 8 - Expansor de Hyrax tradicional com ancoragem em primeiros pré-molares e primeiros molares superiores.

2. Modelo Hyrax modificado (Figura 9): expansor ortodôntico dento-suportado, contendo torno central de expansão de 11 (onze) milímetros (Morelli Ortodontia, ref 65.05.012), localizado na cervical entre o primeiro e segundo pré-molares, sendo que cada quarto de volta do aparelho significa uma expansão de 0,25 milímetros. Possui quatro braços de alavanca de orientação centrífuga em relação ao parafuso central, no qual as bandas de ancoragens são soldadas. O expansor foi confeccionado de modo que o parafuso central de expansão ficasse posicionado entre os pré-molares superiores,

ao nível cervical. A ancoragem foi feita através de bandas ortodônticas apoiadas em primeiros pré-molares e primeiros molares superiores. Nestas bandas foram soldados bráquetes tipos edgewise com slot de 0,22 polegadas. Após montagem do expansor de Hyrax no análogo de crânio de resina fotoelástica, o restante do expansor foi adaptado aos dentes do modelo. Bráquetes tipo edgewise com slot de 0,22 polegadas para os dentes caninos e segundo pré-molares foram adaptados com cola de cianoacrilato (Superbond, Loctite Henkel Brasil, Diadema, Brasil). No segundo molar superior foi adaptado um tubo com slot de 0,25 polegadas. Após esta colagem, um fio retangular passivo tamanho 0,17 x 0,22 polegadas foi adaptado aos bráquetes. O objetivo desta montagem é diminuir a concentração de forças sobre os dentes bandados (figura 10).



Figura 9 - Expansor de Hyrax modificado, com bráquetes soldados na face vestibular das bandas dos primeiros pré-molares e primeiros molares superiores.

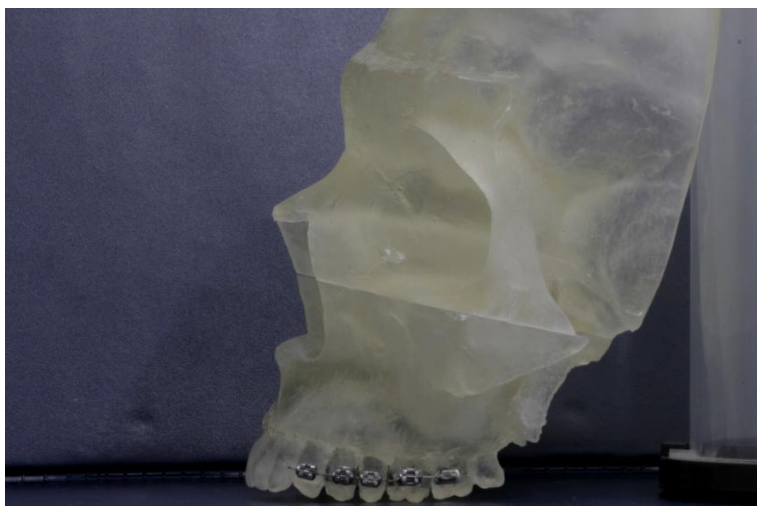


Figura 10 - Expansor de Hyrax modificado montado no crânio de resina fotoelástica com fio retangular passivo adaptado aos bráquetes de canino a segundo molar, unidos ao expansor.

3. Distrator de Rotterdam (RPD; KLS Martin, Postfach 60, D-78501 Tuttlingen, Alemanha): aparelho ortopédico ósseo-suportado que se ancora nos processos palatinos da maxila, na região dos pré-molares superiores. Seu desenvolvimento foi baseado nas propriedades mecânicas de um macaco para carro, confeccionado em titânio grau II. Os componentes básicos desse aparelho são um parafuso central que contém uma articulação que permite a rotação dos braços do aparelho e duas placas que medem 5 mm x 12 mm que contém seis pontas de 2 mm cada. Estas placas apresentam uma angulação de 65 graus em relação ao dispositivo central. A ativação é realizada através de um pequeno parafuso hexagonal localizado diretamente atrás dos incisivos centrais superiores. Não são necessários parafusos para fixar o expansor ao osso (Figura 11).

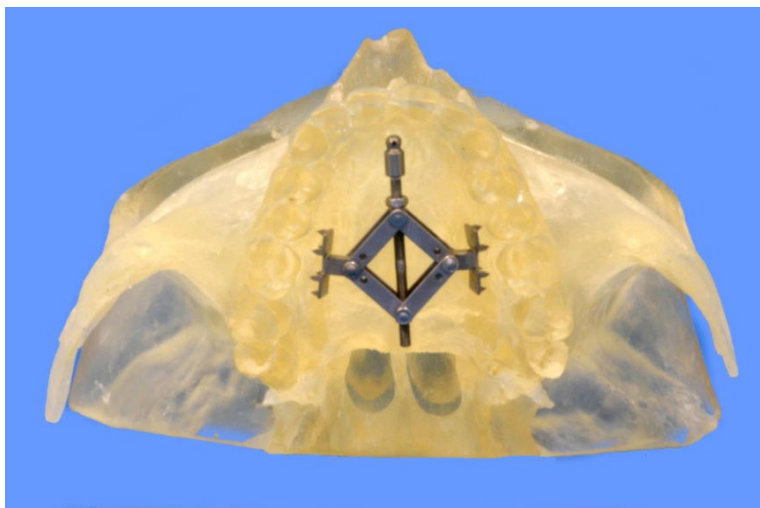


Figura 11 – Distrator de Rotterdam - RPD; KLS Martin, Postfach 60, D-78501 Tuttlingen, Alemanha - montado na réplica de crânio em resina fotoelástica.

Com o objetivo de padronizar e mensurar a expansão de cada modelo avaliado na análise fotoelástica, todas as ativações foram medidas em milímetros. Portanto, os expansores Hyrax apresentam um padrão de 0,25 milímetro de abertura a cada quarto de volta. O distrator de Rotterdam não apresenta uma abertura uniforme e proporcional ao número de ativações. Portanto, estas ativações foram baseadas nas recomendações do fabricante, de acordo com o gráfico abaixo e confirmadas com o uso de um paquímetro digital durante o experimento (Figura 12).

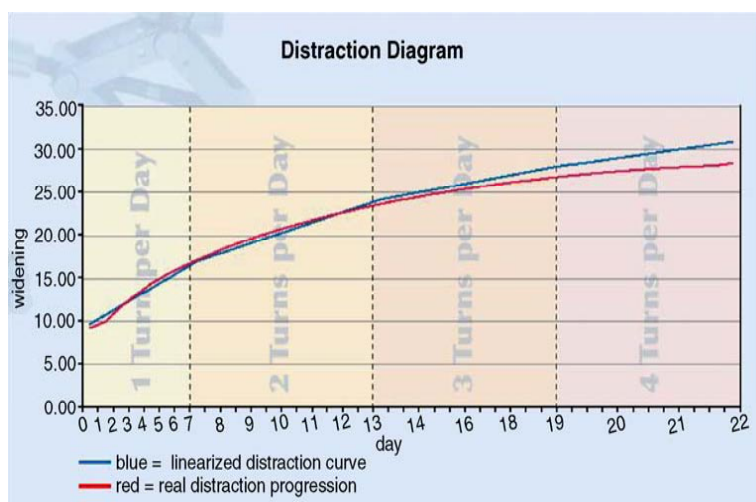


Figura 12 – Diagrama demonstrando a quantidade de abertura e a quantidade recomendada de ativações por dia do distrator de Rotterdam. Até 17 mm de abertura, cada volta completa do torno representa um milímetro de ativação. Após 17 mm, são necessárias duas voltas completas para cada milímetro de ativação.

Os expansores foram adaptados em seus respectivos modelos de crânio em resina fotoelástica e fixados nos mesmos com cola plástica de cianoacrilato (Superbonder, Loctite Henkel Brasil, Diadema, Brasil).

### 4.3 Análise Fotoelástica

O estudo foi realizado no departamento de Materiais Dentários da FOP/Unicamp utilizando o polariscópio de análise fotoelástica plana, desenvolvido pela empresa Eikonai Instrumentos Ópticos Comércio e Serviço Ltda. (São Paulo – SP, Brasil). Para melhor visualização das franjas de tensão nos crânios confeccionados em resina fotoelástica, foi utilizado um recipiente de vidro de 30 x 30 x 30 centímetros, confeccionado em vidro temperado, no qual foi adicionado óleo mineral transparente

(Campestre Ind. e Com. de Óleos Vegetais Ltda. – São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil) para minimizar a refração da luz na superfície dos corpos de prova (Figura 13).

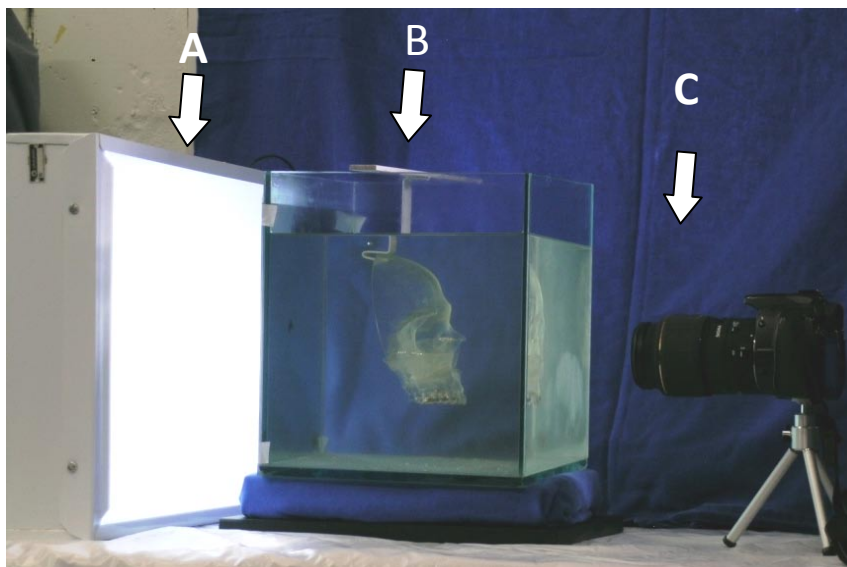


Figura 13 – Polariscópio plano utilizado no estudo. **A**, é a fonte de luz, **B**, o recipiente com óleo mineral e o filtro polarizador do lado esquerdo ao fundo do aquário e **C**, câmera fotográfica com filtro analisador.

Os crânios foram suspensos no interior do recipiente de vidro temperado através de um suporte de alumínio localizado em sua região superior que segurava o crânio por um gancho que se prendia na região mediana do osso frontal. Esse suporte permitiu a visualização do crânio no interior do cubo nos sentidos látero-lateral e ântero-posterior (Figura 14).



Figura 14 – Haste de alumínio confeccionada para suportar os crânios e permitir análise frontal, frontal inclinada e perfil 3/4.

Foram confeccionados guias de acrílico que se encaixavam nesse suporte de alumínio para padronizar a posição dos crânios para as fotos frontais, frontais inclinadas e perfil  $\frac{3}{4}$  direita e esquerda.

Com o objetivo de eliminar as tensões geradas nos crânios de resina fotoelástica durante a confecção dos modelos e adaptação dos expansores, os mesmos foram levados a uma estufa com temperatura de 40°C no qual permaneceram por 90 minutos para eliminação das tensões residuais.

Antes do início dos testes fotoelásticos, os crânios foram observados e fotografados com câmera fotográfica tipo SLR e lente macro (Canon Rebel XTi associada a lente Macro 100mm, Canon, USA) no cubo de vidro para registro das possíveis tensões residuais presentes nas amostras. Após cada etapa cirúrgica simulada no crânio, o mesmo foi fotografado em vista frontal, frontal inclinada e perfil 3/4 para registro das tensões geradas.

Foram padronizadas quatro fotos diferentes para cada passo da sequência acima. Uma foto frontal, e foto lateral direita e esquerda com perfil de 3/4 para observar as forças se distribuindo através dos processos pterigóideos do osso esfenóide. Cada foto foi realizada com abertura f 1/100, tempo de exposição de 5 segundos e ISO 200. Foram realizadas um total de 32 fotos por crânio.

Para simular uma cirurgia de expansão rápida de maxila, os modelos foram submetidos à simulação de osteotomia dos pilares caninos, zigomáticos, sutura palatina mediana a junção ptérigomaxilar. Para melhor análise da distribuição de tensão através das estruturas cranianas, ativações dos aparelhos foram realizadas entre as etapas cirúrgicas, como descritas a seguir:



### **Sequência do Experimento Realizado**

1. Fotos sem ativação (frontal, frontal inclinada e perfil 3/4 direita e esquerda);
2. 1,5 milímetro de ativação;
3. Fotos (frontal, frontal inclinada e perfil 3/4 direita e esquerda);
4. Retorno das ativações do parafuso expansor ao zero;
5. Simulação das osteotomias da linha média e paredes laterais da maxila;
6. Permanência na estufa (40°C por 90 minutos);
7. Fotos (frontal, frontal inclinada e perfil 3/4 direita e esquerda);
8. 1,5 milímetro de ativação;
9. Fotos (frontal, frontal inclinada e perfil 3/4 direita e esquerda);
10. 3,0 milímetros de ativação;
11. Fotos (frontal, frontal inclinada e perfil 3/4 direita e esquerda);
12. Retorno das ativações do parafuso expansor ao zero;
13. Simulação das osteotomias dos processos pterigóideos;
14. Permanência na estufa (40°C por 90 minutos);
15. Fotos (frontal, frontal inclinada e perfil 3/4 direita e esquerda);
16. 1,5 milímetro de ativação;
17. Fotos (frontal, frontal inclinada e perfil 3/4 direita e esquerda);
18. 3,0 milímetros de ativação;
19. Fotos (frontal, frontal inclinada e perfil 3/4 direita e esquerda);

A etapa 1 foi utilizada como controle para posterior descrição da distribuição de forças pelos modelos. A etapa 3 foi utilizada para comparação da distribuição de forças entre as três ancoragens testadas. As etapas seguintes foram realizadas para comparar a distribuição de tensões pelos crânios após as simulações das osteotomias da ERMCA.

As osteotomias simuladas foram padronizadas em todos os crânios, da forma descrita abaixo. Todas as simulações foram realizadas com disco de carborundum sob irrigação constante.

**A.** Simulação da osteotomia maxilar bilateral, que se estendeu do processo pterigóideo até a abertura piriforme. Esta osteotomia foi padronizada como descrito abaixo: Se inicia na abertura piriforme, 35 milímetros acima da cúspide do canino (figura 15), se estendendo para a região posterior da maxila, passando 25 milímetros acima da cúspide mésovestibular do primeiro molar superior (figura 16) e 19 milímetros acima da cúspide mésovestibular do segundo molar (figura 17). O término da osteotomia foi 8 milímetros aquém dos processos pterigóideos (figura 18). Foi realizada também uma osteotomia palatina mediana entre os incisivos centrais que se estendeu até a metade do palato.

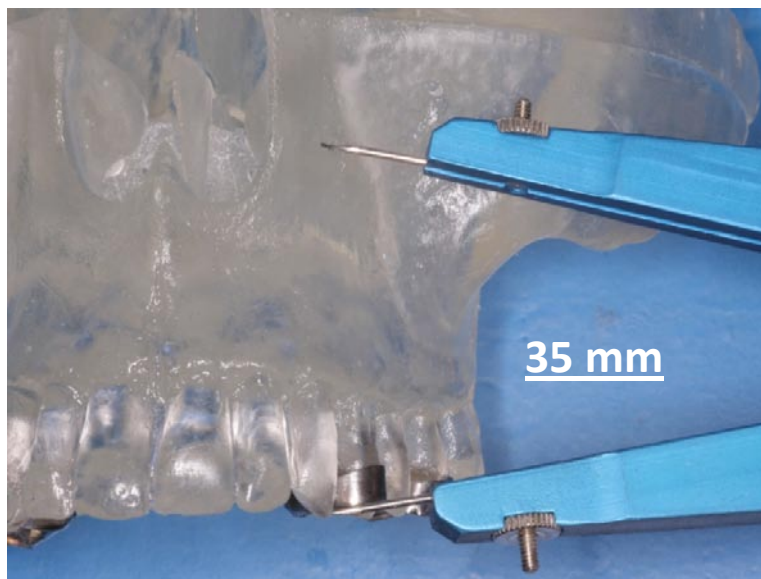


Figura 15 – Marcação da simulação da osteotomia 35 mm acima da cúspide do canino.

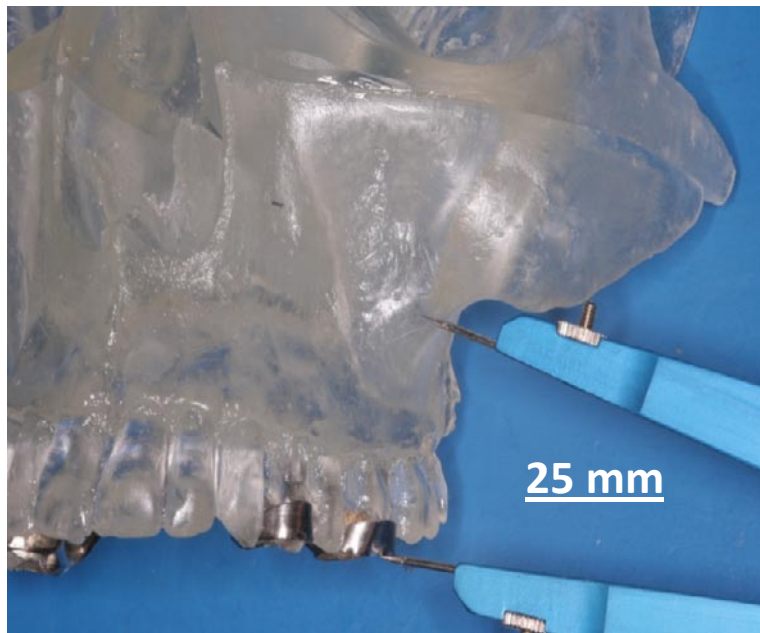


Figura 16 – Marcação da simulação osteotomia 25 mm acima da cúspide mésovestibular do primeiro molar.

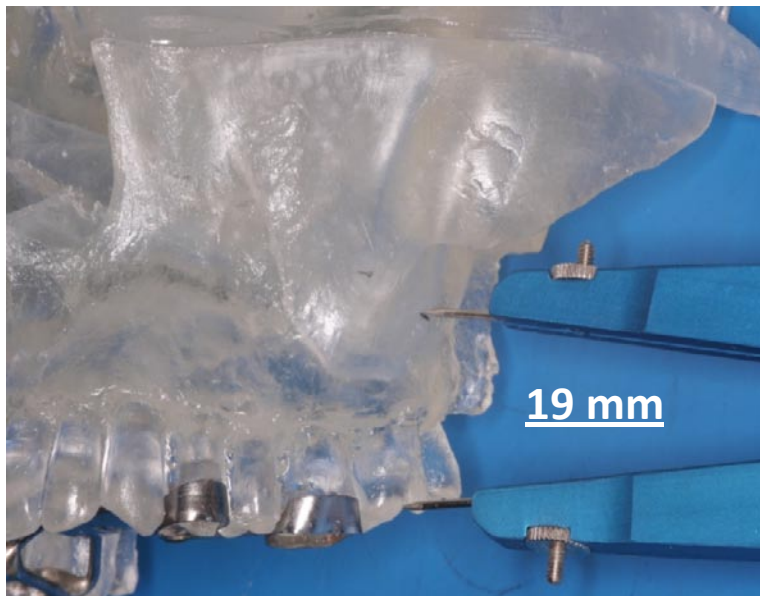


Figura 17 – Marcação da simulação da osteotomia 19 mm acima da cúspide mésovestibular do segundo molar.

A figura 17 mostra o aspecto da simulação da osteotomia inicial realizada nos três crânios.



Figura 18 – Vista lateral do aspecto da simulação da osteotomia antes da disjunção ptérigomaxilar.

**B. Disjunção ptérigomaxilar.** A segmentação foi levada até os processos pterigóideos e os mesmos foram separados 10 milímetros acima do nível da osteotomia da parede lateral da maxila (figura 19).



Figura 19 – Vista lateral do aspecto final da simulação da osteotomia com a disjunção ptérigomaxilar.

## **5 RESULTADOS**

### **5.1 Análise Comparativa da Distribuição Inicial de Tensões entre os Expansores**

A figura 20 apresenta os três crânios com poucas franjas isocromáticas, e suas imagens foram utilizadas como controle para comparação entre as ancoragens e a simulação das osteotomias. As três ancoragens testadas, após ativação inicial de 1,5 milímetros, ainda sem cortes nos modelos produziram forças através dos pilares caninos, pilares zigomaticomaxilares e túber de maxila, se distribuindo através dos processos pterigóideos. A partir desta região, as forças se concentraram nos processos frontais da maxila, na sutura frontozigomática e na asa maior do esfenóide. As forças também apresentaram um padrão súpero medial, se concentrando na parede medial da órbita, na região dos ossos nasais e lacrimais. A região alveolar entre os incisivos centrais também apresentou concentração de franjas isocromáticas. Essa descrição pode ser vista nas figuras 21, 22 e 23, cada uma apresentando os resultados da ativação inicial de cada ancoragem.

As três ancoragens avaliadas apresentaram diferentes padrões de distribuição de forças. O expensor Hyrax apresentou maior concentração de tensões nos dentes utilizados com ancoragem. O expensor Hyrax modificado apresentou melhor distribuição de tensões por todos os dentes utilizados como ancoragem, resultado em menor formação de franjas isocromáticas em uma área mais ampla dos dentes e adjacências que o expensor Hyrax. O distrator de Rotterdam apresentou menor concentração de tensões nos dentes e adjacências do rebordo alveolar. As franjas observadas na região anatômica correspondente às raízes dos dentes ou ao processo alveolar da réplica de crânio são devido à distribuição de tensão no interior da resina fotoelástica.



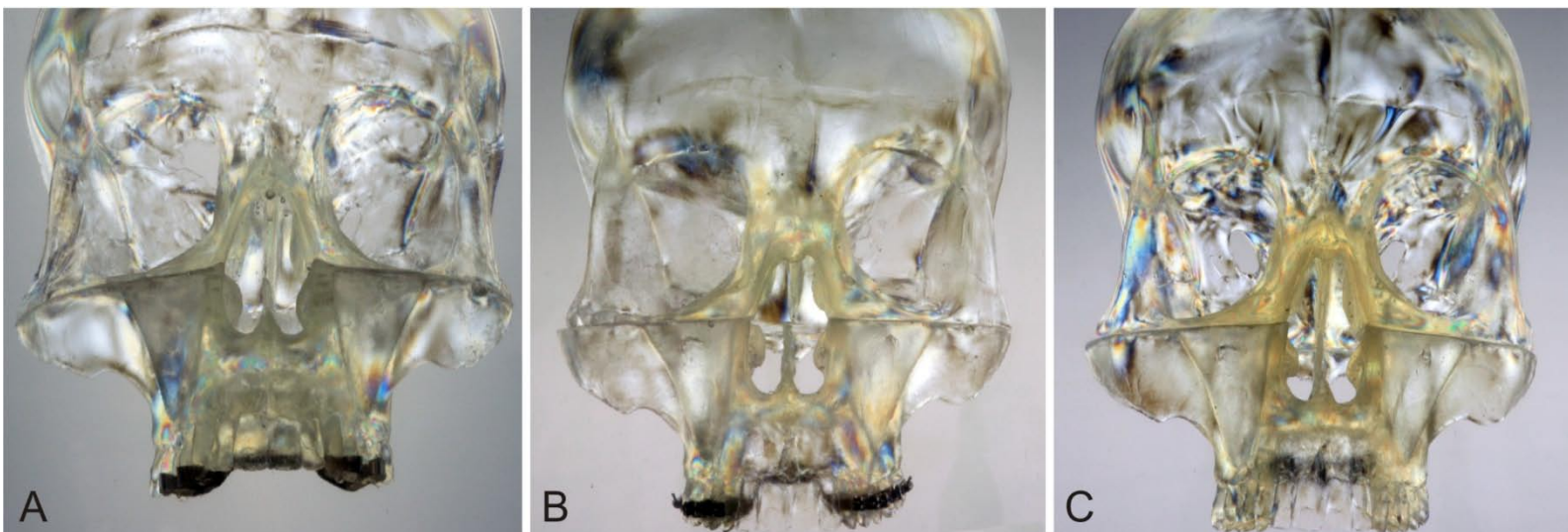


Figura 20 – Vistas frontais iniciais das três ancoragens testadas, exibindo poucas franjas isocromáticas. A, Hyrax; B, Hyrax modificado; C, Rotterdam. A figura A apresenta maior número de franjas na região anatômica do processo alveolar.

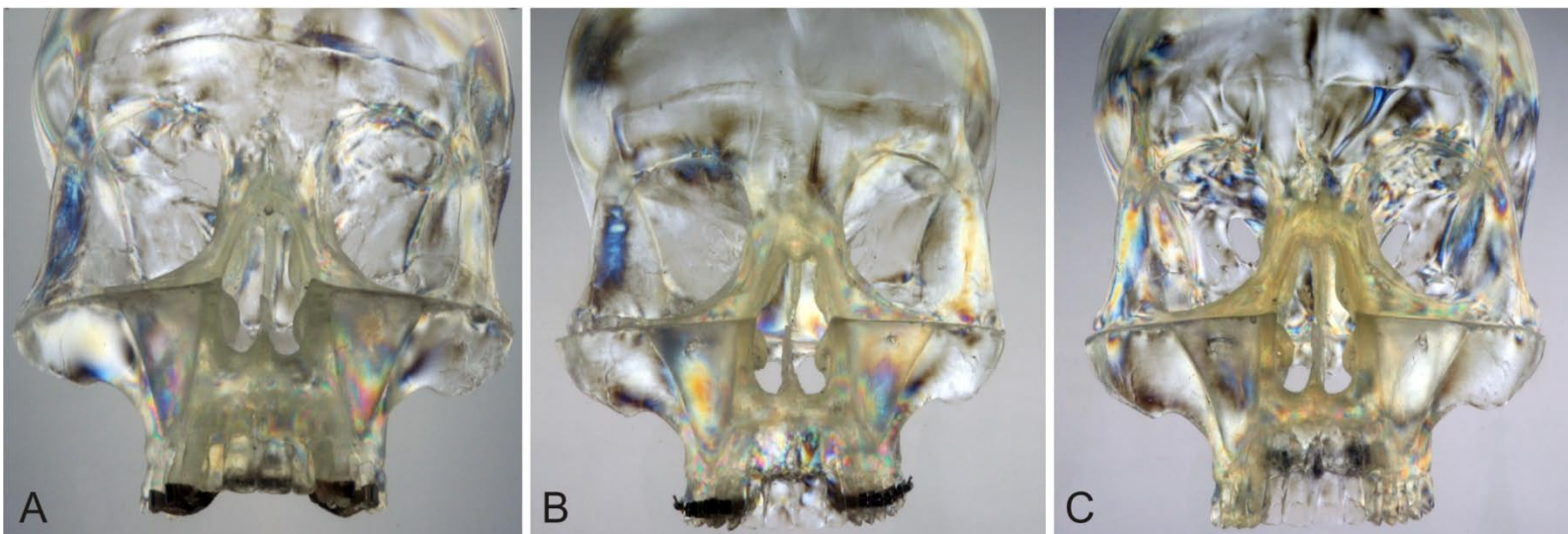


Figura 21 – Vistas frontais após 1,5 mm de ativação exibindo franjas isocromáticas nos pilares caninos e zigomáticos. A, Hyrax; B, Hyrax modificado; C, Rotterdam. As figuras B e C apresentam franjas isocromáticas de menor intensidade nos dentes que a figura A.

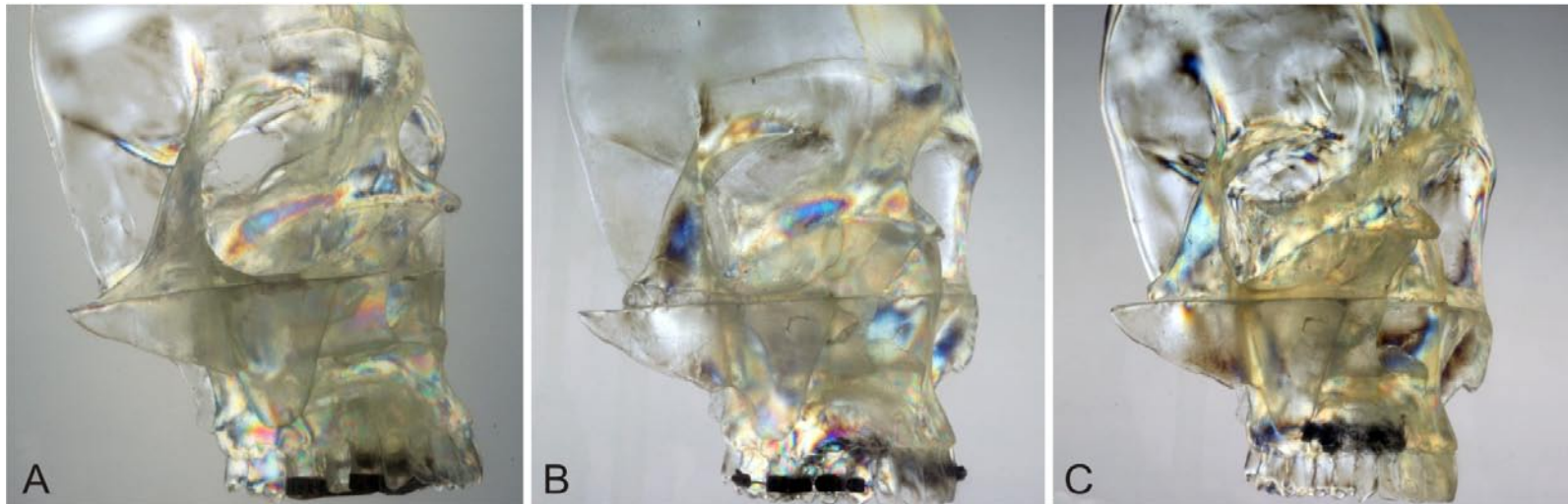


Figura 22 – Vistas de perfil 3/4 após 1,5 mm de ativação exibindo franjas isocromáticas nos pilares pterigóideos. A, Hyrax; B, Hyrax modificado; C, Rotterdam. As figuras B e C apresentam franjas isocromáticas de menor intensidade nos dentes que a figura A.

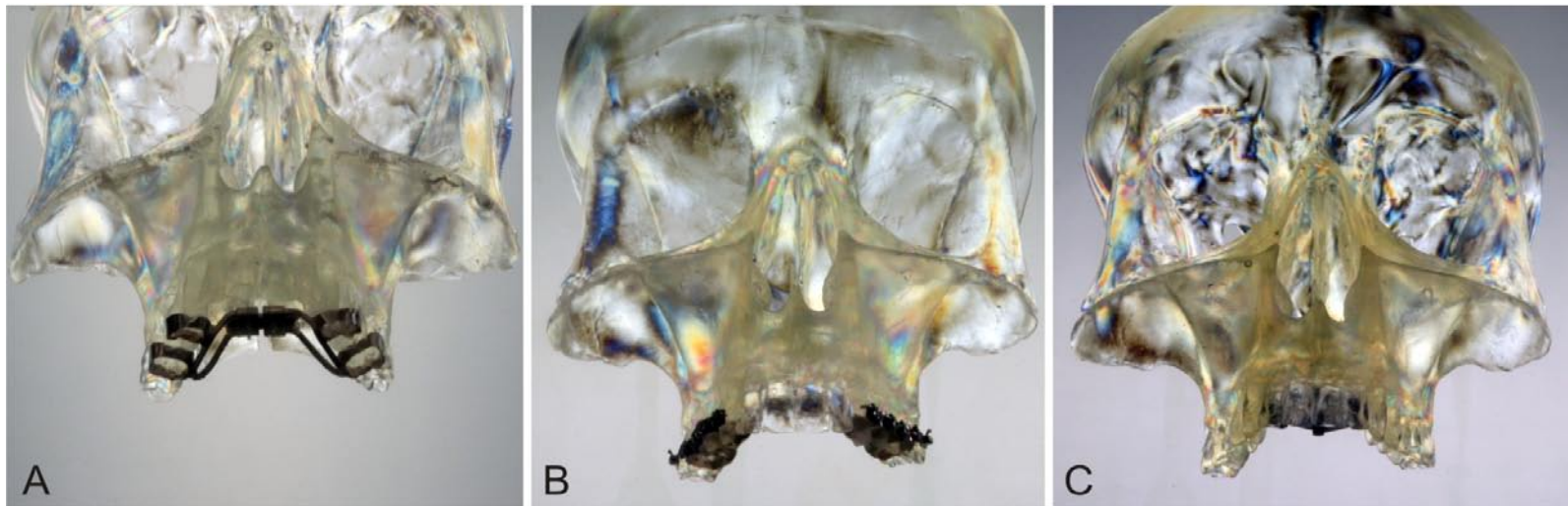


Figura 23 – Vistas frontal inclinada após 1,5 mm de ativação exibindo franjas isocromáticas nos pilares caninos e zigomático. A, Hyrax; B, Hyrax modificado; C, Rotterdam. As figuras B e C apresentam franjas isocromáticas de menor intensidade nos dentes que a figura A.

## **5.2 Análise Comparativa da Distribuição de Tensões após Osteotomias Vestibulares e Palatina Mediana**

As figuras 24, 25 e 26 representam a distribuição de forças no crânio de resina fotoelástica após simulação das osteotomias da linha média e paredes laterais de maxila, em vista frontal, em três momentos diferentes do teste fotoelástico. A primeira figura de cada ancoragem (A) representa a ativação inicial de 1,5 mm, utilizada como comparação para as fotos seguintes. A segunda figura (B) representa o crânio sem tensão após simulação das osteotomias da linha média e paredes laterais de maxila. A terceira foto (C) representa o resultado após 1,5 mm de ativação dos expansores após as osteotomias.

A distribuição de tensões pelo túber de maxila e processos pterigóideos pode ser notada ao se comparar as fotografias A e C entre as ativações de 1,5 milímetros e 3,0 milímetros, respectivamente. Pode-se notar a presença de franjas isocromáticas na região posterior da maxila, pilares zigomaticomaxilares e suturas frontozigomáticas. O expansor Hyrax modificado e o distrator de Rotterdam apresentaram menor formação de franjas na região de túber e processos pterigóideos em comparação ao Hyrax tradicional. As suturas frontozigomáticas e pilares zigomaticomaxilar apresentam-se com franjas de tensão devido à irradiação de forças pelos processos pterigóideos do osso esfenóide.

Os expansores Hyrax, Hyrax modificado e distrator de Rotterdam apresentaram comportamento semelhante em relação à distribuição de tensões pelo esqueleto facial. Houve uma clara redução de formação de franjas em direção superior na maioria das estruturas anatômicas após a realização das osteotomias vestibulares e palatina mediana. Como os pilares caninos e pilares zigomaticomaxilares deixaram de transmitir forças, houve um acúmulo de franjas na região dos dentes molares e túber de maxila distribuídas através dos processos pterigóideos.



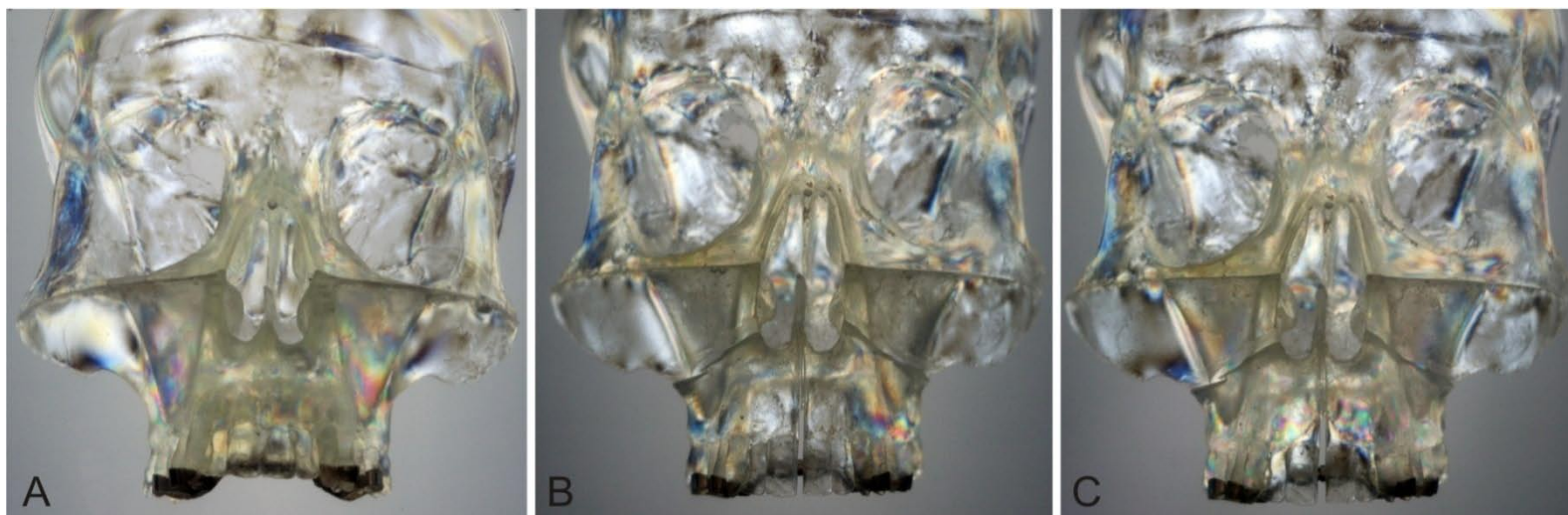


Figura 24 – Vistas frontais do expansor Hyrax em: A, antes da simulação das osteotomias; B, após a simulação das osteotomias e C, após 1,5 mm de ativação subsequentes à simulação das osteotomias.

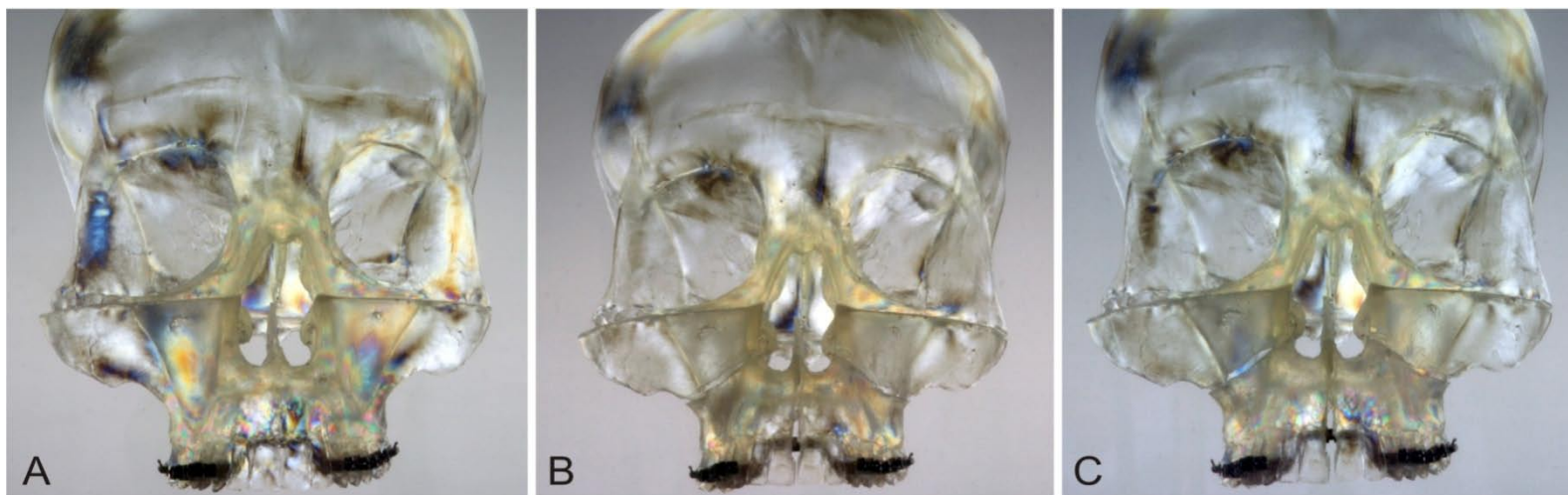


Figura 25 – Vistas frontais do expansor Hyrax modificado em: A, antes da simulação das osteotomias; B, após a simulação das osteotomias e C, após 1,5 mm de ativação subsequentes à simulação das osteotomias.

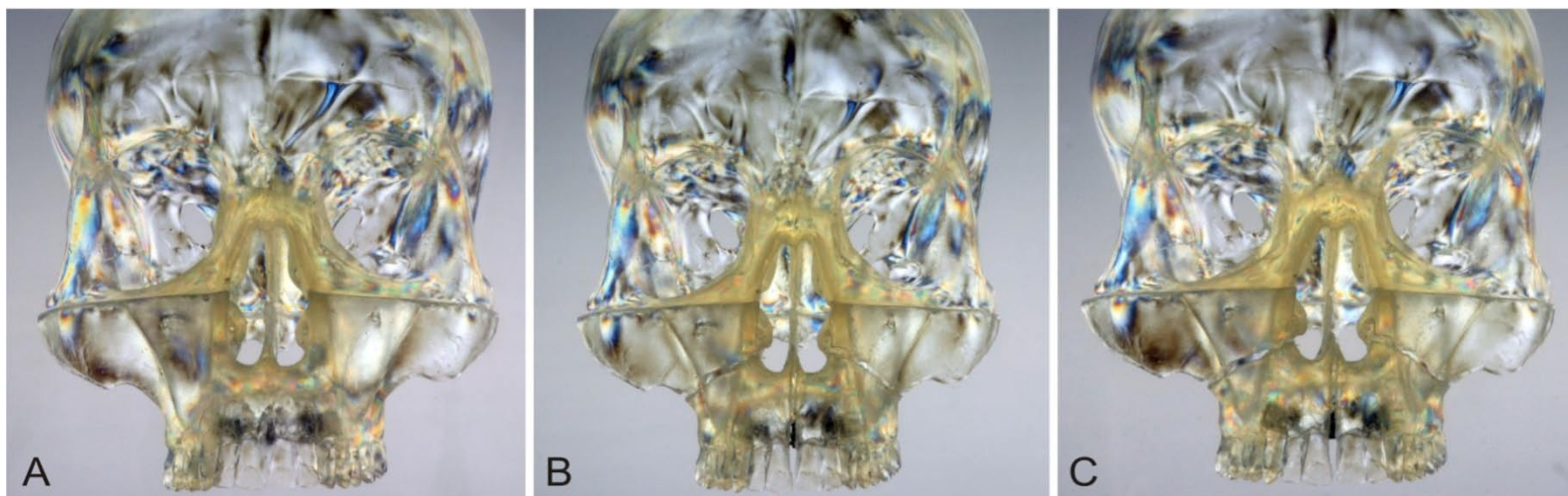


Figura 26 – Vistas frontais do expensor Rotterdam em: A, antes da simulação das osteotomias; B, após a simulação das osteotomias e C, após 1,5 mm de ativação subsequentes à simulação das osteotomias.

### **5.3 Análise Comparativa da Distribuição de Tensões entre 1,5 e 3,0 milímetros de Ativação antes da Disjunção Ptérigomaxilar**

As figuras 27, 28 e 29 representam dois momentos diferentes do teste fotoelástico. A primeira foto de cada aparelho (A) representa a ativação de 1,5 mm após osteotomia da linha média e paredes laterais de maxila. A segunda foto (B) representa o crânio com 3,0 mm de ativação após osteotomia da linha média e paredes laterais de maxila.

Os expansores Hyrax, Hyrax modificado e Rotterdam apresentaram comportamento semelhante ao apresentado no item 5.2 em relação à distribuição de tensões pelos pilares caninos e pilares zigomaticomaxilar, ou seja, estas regiões deixaram de transmitir tensões. Houve um acúmulo de franjas na região dos dentes molares e túber de maxila que se distribuíam através dos processos pterigóideos.

Comparando-se as fotos iniciais (A) com as finais (B) nota-se aumento da intensidade de cores das franjas isocromáticas, em todas as três ancoragens. As suturas frontozigomáticas apresentam-se com franjas de tensão devido à irradiação de forças pelos processos pterigóideos do osso esfenóide e as paredes mediais das órbitas apresentam-se com franjas de tensão devido à irradiação de forças pela parede lateral do nariz. O distrator de Rotterdam e o aparelho Hyrax modificado apresentaram franjas isocromáticas de menor intensidade na região do túber e adjacência dos dentes. As franjas isocromáticas vistas nos dentes nas figuras do distrator de Rotterdam são devido à distribuição de forças para região. As tensões observadas nos dentes nas figuras dos aparelhos Hyrax modificado e Hyrax são devido à carga direta na região.

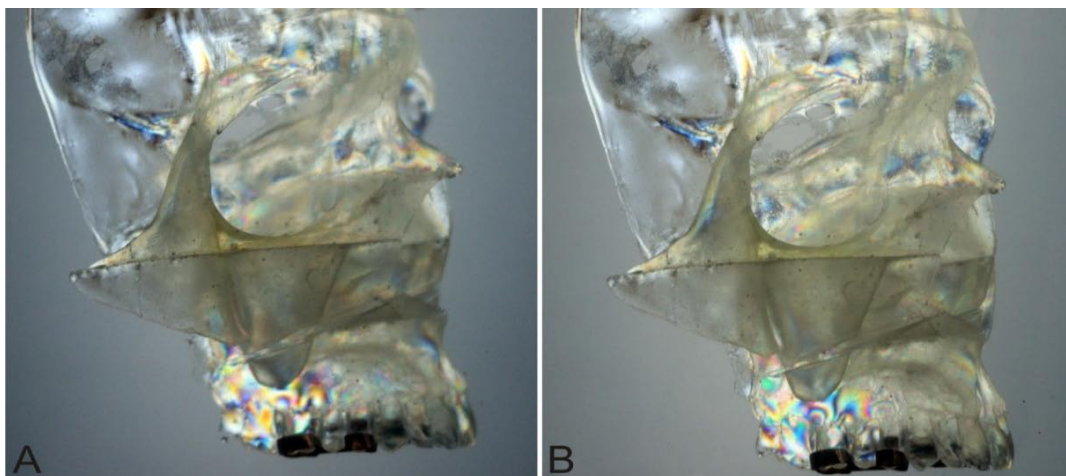


Figura 27. Expansor Hyrax em vista de perfil 3/4 direita após simulação das osteotomias da linha média e paredes laterais da maxila em: A, com 1,5 mm de ativação e B, com 3,0 mm de ativação.

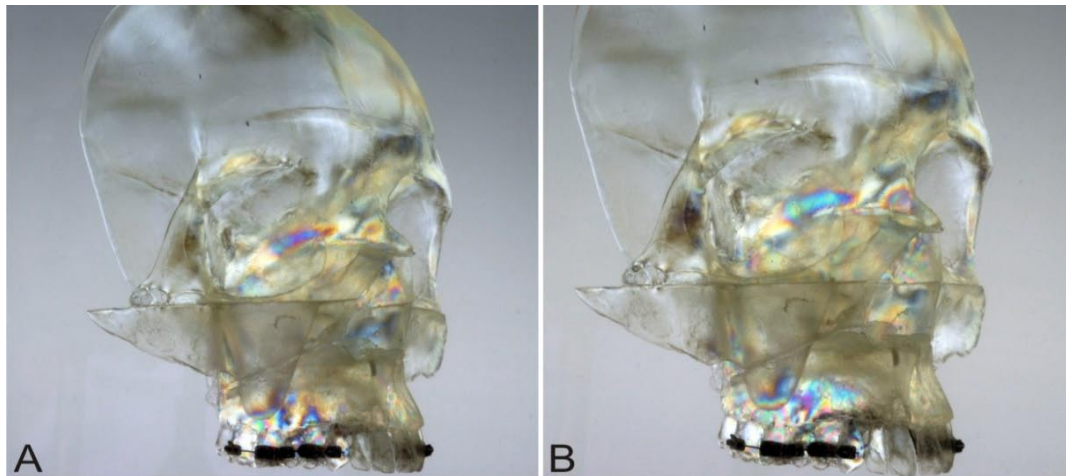


Figura 28. Expansor Hyrax modificado em vista de perfil 3/4 direita após simulação das osteotomias da linha média e paredes laterais da maxila em: A, com 1,5 mm de ativação e B, com 3,0 mm de ativação.



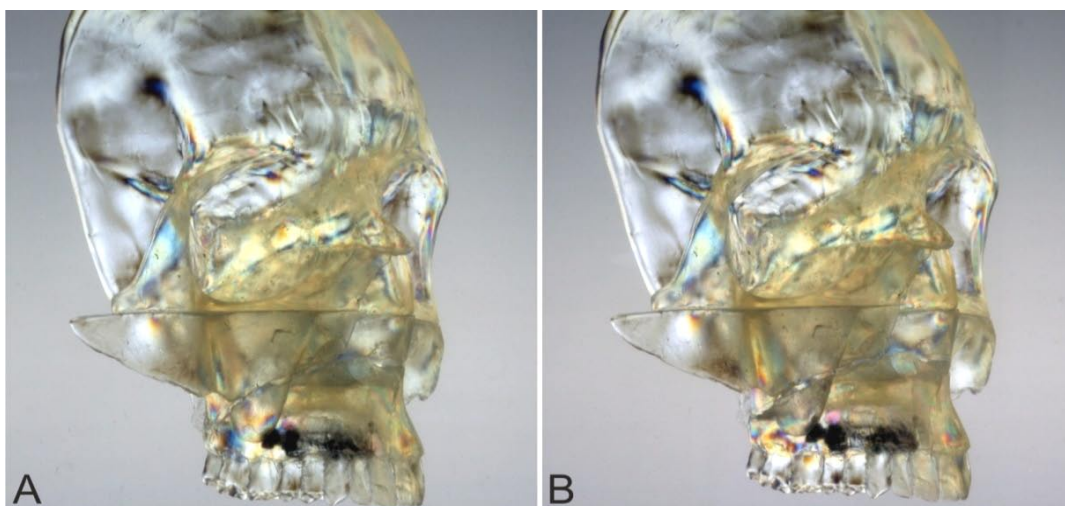


Figura 29. Expansor de Rotterdam em vista de perfil 3/4 direita após simulação das osteotomias da linha média e paredes laterais da maxila em: A, com 1,5 mm de ativação e B, com 3,0 mm de ativação.

## **5.4 Análise Comparativa da Distribuição de Tensões após Disjunção Ptérigomaxilar**

Os aparelhos Hyrax, Hyrax modificado e distrator de Rotterdam apresentaram comportamento semelhante em relação à distribuição de tensões pelo esqueleto facial após a disjunção ptérigomaxilar. Após a disjunção ptérigomaxilar houve uma diminuição nas zonas de tensão que se distribuíam pelo terço médio da face e nas áreas adjacentes aos dentes. A distribuição de forças para as regiões superiores dos crânios avaliados também diminuiu. Não houve aumento das tensões geradas nas regiões superiores da órbita. A única região que não foi rompida após a disjunção ptérigomaxilar foram as paredes laterais do nariz, que também formam as paredes mediais da órbita, o que explica a existência de franjas isocromáticas nesta região. Esse padrão foi visto em todos os crânios da amostra, como evidenciado pelas figuras 30 a 32.

As fotos 30, 31 e 32 apresentam a distribuição de forças no crânio de resina fotoelástica após simulação da osteotomia da linha média e paredes laterais de maxila, em vista de perfil 3/4 após 1,5 mm de ativação dos expansores antes (A) e após (B) a simulação da disjunção ptérigomaxilar, além da vista frontal (C) após 1,5 mm de ativação dos expansores subsequente à simulação da disjunção ptérigomaxilar.

O expansor Hyrax modificado e o distrator de Rotterdam apresentaram menor formação de franjas na região de túber e processos pterigóideos em comparação ao Hyrax tradicional. Sendo que o distrator de Rotterdam apresentou tensão na região dos dentes decorrente da distribuição das mesmas. Os aparelhos de ancoragem dental apresentaram forças na região dos dentes devido à aplicação direta de forças.

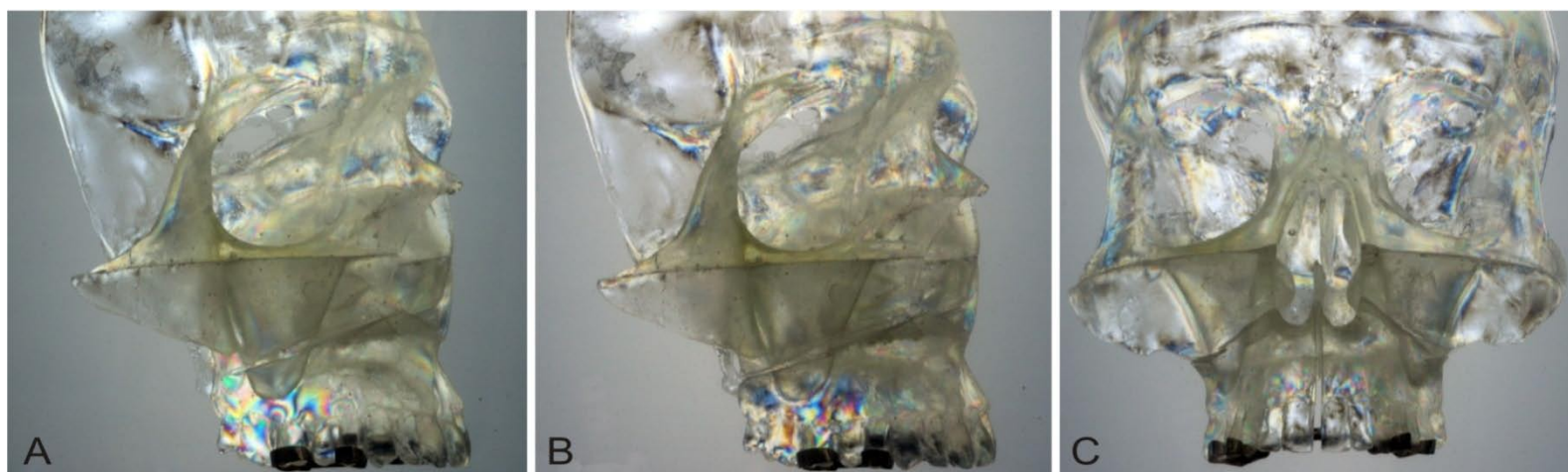


Figura 30. Vistas de perfil direito 3/4 após 1,5 mm de ativação do expansor Hyrax antes da simulação da disjunção ptérigomaxilar (A) e vistas de perfil direito 3/4 e frontal após disjunção ptérigomaxilar (C). Figura A apresenta franjas isocromáticas de maior intensidade.

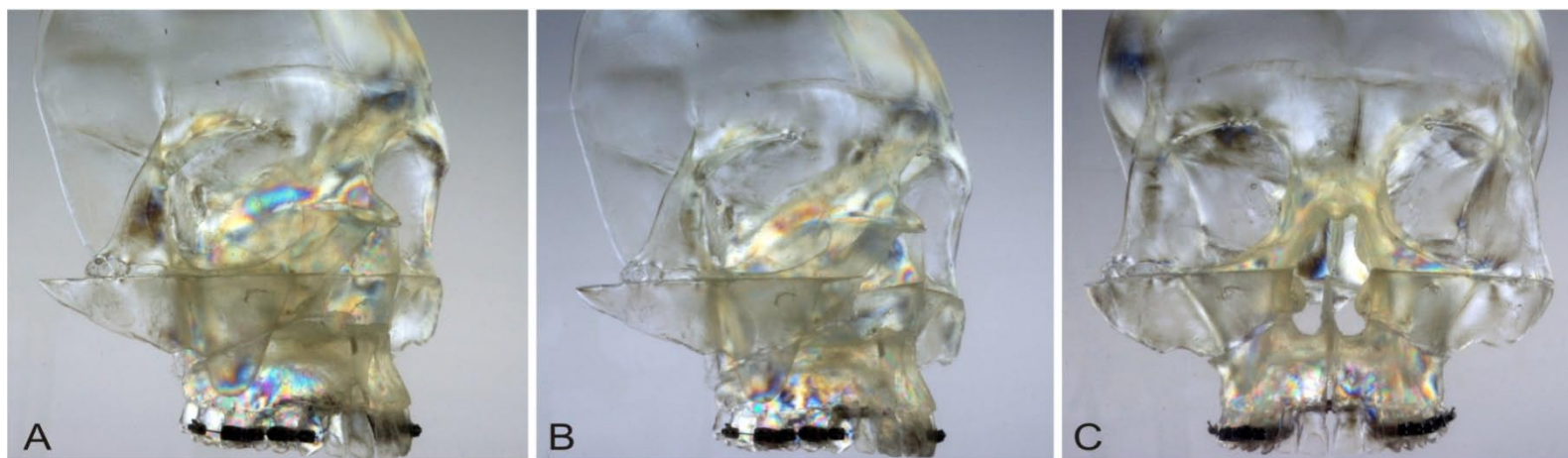


Figura 31. Vistas de perfil direito 3/4 após 1,5 mm de ativação do expansor Hyrax modificado antes da simulação da disjunção ptérigomaxilar (A) e vistas de perfil direito 3/4 e frontal após disjunção ptérigomaxilar (C). Figura A apresenta franjas isocromáticas de maior intensidade.

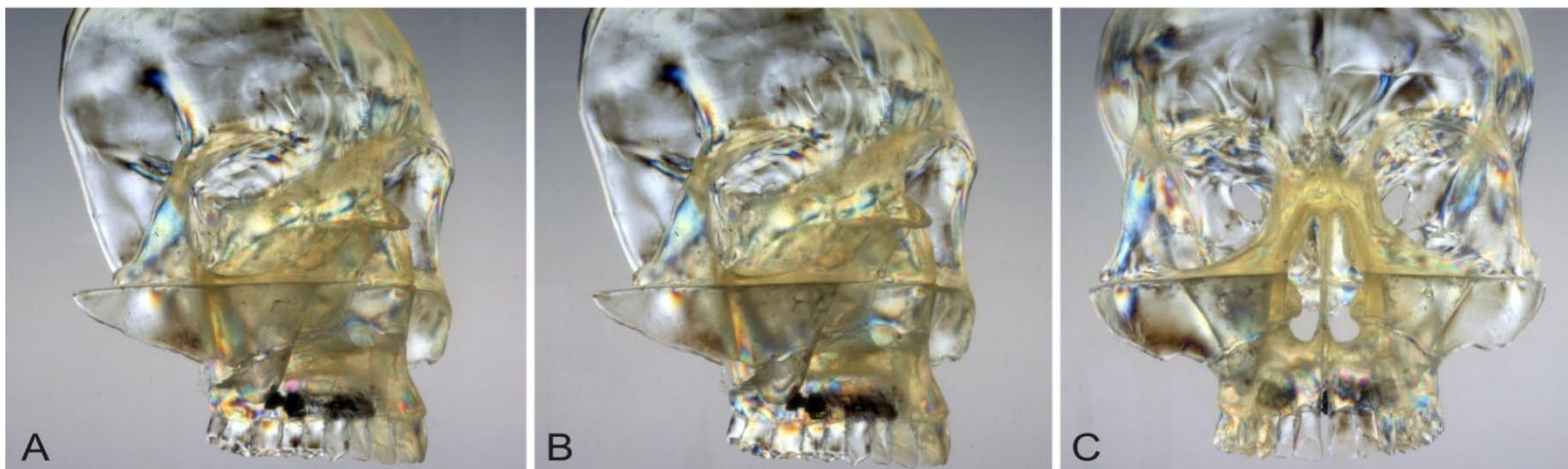


Figura 32. Vistas de perfil direito 3/4 após 1,5 mm de ativação do expansor Rotterdam antes da simulação da disjunção ptérigomaxilar (A) e vistas de perfil direito 3/4 e frontal após disjunção ptérigomaxilar (C). Figura A apresenta franjas isocromáticas de maior intensidade.



## 6 DISCUSSÃO

As áreas que concentram tensão indicam regiões mais susceptíveis a complicações periodontais ou fraturas indesejáveis, ou seja, aquelas nas quais maiores respostas biológicas podem ser esperadas. O expansor Hyrax modificado utilizado nesse estudo diminuiu a incidência de força sobre os dentes bandados, melhorando a ancoragem dento-suportada e, desta forma, diminuindo a possibilidade de complicações. A força aplicada pelo expansor é distribuída por uma quantidade maior de raízes, diminuindo a força incidente sobre os dentes. Pode-se sugerir, portanto, que a ancoragem tipo Hyrax modificado diminui as chances de efeitos indesejáveis, como vestibularização ou reabsorção radicular dos dentes utilizados para ancoragem.

O distrator de Rotterdam não pode ser comparado diretamente com o Hyrax, pois a tensão observada nos dentes ou rebordo alveolar é devida à distribuição da tensão que se concentra no local da ancoragem no palato. Portanto, como o padrão da distribuição da tensão pelo crânio foi similar nas três ancoragens avaliadas e a expansão alcançada em milímetros foi a mesma, o distrator de Rotterdam apresentou menor potencial de complicações em dentes e rebordo alveolar. Contudo, não podemos afirmar que ele é melhor para todos os pacientes, pois o resultado apresentado é apenas mecânico. Como o distrator de Rotterdam não gera concentração de tensão, pois a carga é transmitida diretamente para o osso e do osso se distribui para regiões mais altas do crânio, podemos interpretar que o distrator de Rotterdam não apresenta tendência à vestibularização dos dentes. Estudos clínicos mostram que a média de vestibularização dos dentes em expansores dento- suportados é de 6,48 graus para os pré-molares e de 7,04 a 9,63 graus para os molares (Chung & Goldman, 2003; Byloff & Mossaz, 2004). Os expansores ósseo-suportados apresentaram vestibularização de 0,9 graus e palatinização de 8,9 graus para pré-molares e molares, respectivamente (Pinto *et al.*, 2001). Esses

valores parecem confirmar os resultados desse estudo, no qual o expensor de Hyrax tradicional apresentou maior incidência de forças diretamente sobre os dentes.

Não houve variações significativas nas regiões de distribuição de tensões pelo crânio entre as três ancoragens testadas. As variações foram evidenciadas em relação às áreas de maior concentração das tensões, demonstrando diferenças entre as ancoragens. Pode-se sugerir, portanto, que a ancoragem promovida pelo distrator Rotterdam elimina as chances de efeitos indesejáveis da ancoragem dento-suportada, mantendo o padrão de distribuição das tensões pelo crânio e o resultado almejado.

Os resultados aqui encontrados parecem confirmar com os resultados apresentados em estudos clínicos, em que os efeitos sobre dentes são menores quando se utiliza expansores ósseo-suportados. Tausche *et al.* (2007), em estudo tomográfico da ERMCA em 10 pacientes utilizando um expensor ósseo-suportado, apresentou em seus resultados um padrão de abertura em “V”, com vestibularização dos processos alveolares de 9,9 a 13,3 graus. Os dentes molares apresentaram vestibularização de 2,5 a 3,5 graus e os pré-molares de 3,0 a 3,9 graus, concluindo que esse expensor protege os dentes por causar maiores movimentações esqueléticas do que dentais. Chamberland & Proffit (2008) apresentaram um estudo radiográfico e de modelos em pacientes submetidos à ERMCA no qual os molares apresentaram uma expansão de média de 7,48 mm, com recidiva de 2,2 mm e expansão esquelética de 3,49 mm. Esses autores concluíram que um terço de expansão é perdido devido à recidiva dental.

Ramieri *et al.* (2005) encontraram 7% de recessão gengival um ano após a expansão. Esses autores também relataram que muitos dos problemas periodontais ocorrem entre os incisivos centrais. Essas alterações são associadas à técnica cirúrgica, como trauma ou perda de paredes do alvéolo do incisivo central. A análise fotoelástica do

presente estudo e de outro publicado por Lima Jr *et al.* (2011) revelaram grande concentração de forças na linha média da maxila. Além dessa concentração de forças na linha média, diferenças no padrão de abetura das metades da maxila podem estar associadas à disjunção ptérigomaxilar. Sem a disjunção ptérigomaxilar e o expansor localizado ao nível de pré-molares, a maxila pode apresentar um padrão de abertura em “V”, com mais expansão na região anterior da maxila. Se a disjunção ptérigomaxilar for realizada e o expansor estiver localizado na região dos molares, existe a tendência de um movimento paralelo das metades da maxila. Se existe excesso de força na região anterior associado a um padrão de abertura em “V”, os incisivos centrais podem ficar mais susceptíveis a problemas periodontais.

Landes *et al.* (2009) sugeriram que a ancoragem em dentes durante a ERMCA deve ser indicada em pacientes que apresentem boas condições periodontais e que aparelhos distratores com ancoragem óssea devem ser indicados em pacientes com arco maxilar muito estreito e com poucos dentes. De acordo com o modelo biomecânico de Koudstaal *et al.* (2009-A e 2009-B), tanto aparelhos ancorados em osso (distratores) como os ancorados em dentes irão apresentar vestibularização dos dentes, sendo que a ancoragem dentária apresenta esse efeito bem maior. A consequência da vestibularização é a recidiva do movimento, podendo comprometer o resultado final.

A escolha do expansor é baseada em sua capacidade em realizar a expansão palatina por exceder a resistência das suturas dos ossos faciais e induzir a separação das metades da maxila e estruturas adjacentes. Porém os efeitos da força sobre os dentes devem ser avaliados para evitar complicações, como recessão gengival e fenestração do osso vestibular pelas raízes dos dentes. O expansor Hyrax apresenta resultados clínicos seguros (Fernandez-Sanromán *et al.*, 2010). Contudo, a doença periodontal e a ausência de dentes são contra-indicações para a ancoragem dento-suportada. O expansor Hyrax modificado é indicado para qualquer paciente que possa receber ancoragem dental, com

a vantagem de diminuir a vestibularização dos dentes. As vantagens dos aparelhos de ancoragem óssea sobre os aparelhos convencionais incluem ancoragem óssea direta, criando apenas expansão ortopédica, ausência de vestibularização dos dentes, ausência de trauma periodontal com reabsorção radicular, evita a perda de ancoragem, evita a necrose da mucosa palatina, evita cáries dentais e problemas associados à má higiene bucal, especialmente em pacientes com limitada higienização bucal. Esses distratores podem ser colocados em maxilas extremamente estreitas, não havendo necessidade de parafusos ou bandas para sua contenção e são facilmente removidos sob anestesia local (Mommaerts, 1999; Kouldstaal *et al.*, 2005; Aziz & Tanchyk, 2008).

O custo total do procedimento também deve ser considerado ao indicar a técnica de ERMCA. A anestesia geral é indicada quando se pretende realizar a disjunção ptérigomaxilar de forma segura e previsível, elevando-se o custo total do procedimento. O custo do expansor também deve ser considerado. Expansores ósseo-suportados, como o distrator de Rotterdam apresentam custo elevado. Alternativas viáveis, como a utilização de ancoragem óssea utilizando o expansor Hyrax ou o expansor Hyrax modificado utilizado nesse estudo, que apresentem as mesmas vantagens dos distratores ósseo-suportados também devem ser avaliadas com o objetivo de diminuir custos.

O expansor Hyrax modificado apresentado nesse estudo ou mesmo o expansor Hyrax diretamente parafusado no palato (Lida *et al.*, 2008) podem ser úteis para diminuir o custo total do procedimento. A adaptação de expansores Hyrax para pacientes que não tem acesso a outros expansores ósseo-suportados ou que não apresentam problemas de suporte periodontal para a expansão é benéfica, pois esses expansores vêm sendo usados há muitos anos na prática clínica, são bem manuseados pelos ortodontistas e permitem sua individualização (Fernandez-Sanromán *et al.*, 2010).

Embora seja difícil comparar as forças que incidem sobre a maxila, mesmo através de metodologia como análise de elementos finitos, os padrões e magnitudes de forças através do rebordo alveolar e crânio foram marcadamente diferentes após a realização das osteotomias para simular a ERMCA (Han *et al.*, 2008). Holberg *et al.* (2007-B), através de análise de elementos finitos, mostraram diminuição de 122.4 MPa para 32.7 MPa no forame óptico após a disjunção ptérigomaxilar. Além de demonstrar diminuição de forças por todo o esqueleto fixo da face após realizar a osteotomia da parede lateral da maxila. Pode-se sugerir que a realização da disjunção ptérigomaxilar torna a expansão cirurgicamente assistida da maxila mais fácil e previsível, pois quando realizada ocorreu diminuição das tensões pelo crânio, independente da ancoragem avaliada.

O maior número de ativações antes de realizar a disjunção ptérigomaxilar revelou maior concentração de tensões nos dentes posteriores, túber e processos pterigóideos do esfenóide e ausência de tensões nessa região após a separação. Timms (1980) mostrou que a ERM desloca fisicamente os processos pterigóides para lateral, com aumento médio de 58% da distância intermolar. Estudos biomecânicos também confirmaram esse deslocamento para lateral (Shetty *et al.*, 1994; Han *et al.*, 2008, Holberg, 2007 B). Essas pesquisas corroboram o resultado desse estudo, no qual os processos pterigóideos são responsáveis por limitar o deslocamento lateral da maxila, podendo comprometer a estabilidade da expansão alcançada ou até impedir que se alcance a expansão necessária. Portanto, os resultados aqui encontrados sugerem que quanto maiores movimentos de abertura forem necessários, é recomendável separar os processos pterigóideos para diminuir a possibilidade de lesão ao ligamento periodontal dos dentes de ancoragem, e principalmente aumentar a previsibilidade e estabilidade da expansão cirúrgica. Pode-se sugerir que a realização da disjunção ptérigomaxilar torna a expansão cirurgicamente assistida da maxila mais fácil e previsível, pois quando realizada ocorreu diminuição das tensões pelo crânio, independente da ancoragem avaliada

Dentre as várias metodologias existentes para estudar a distribuição de tensões, a análise fotoelástica é útil para analisar as estruturas biológicas, especialmente as do crânio, devido a sua forma irregular. Essa análise permite avaliar a concentração de tensões após a aplicação de uma carga e sua distribuição após alterações da carga ou da resistência da estrutura estudada. Essa informação é útil para aplicação clínica, porque as áreas de concentração de tensão indicam as regiões mais susceptíveis a complicações (Shetty *et al.*, 1994).

As vantagens do uso da análise fotoelástica para testes biomecânicos são a facilidade de uso e baixo custo em relação às outras técnicas, permitindo a visão geral do problema biomecânico que está sendo avaliado e o fato de revelar a incidência de cargas em todo o objeto. As desvantagens são que ela não pode ser utilizada *in vivo*, a presença de tensão residual em algumas áreas, o que pode dificultar a interpretação de resultados (Karl *et al.*, 2008).

As maiores contestações sobre a produção de modelos fotoelásticos estão associadas à confiabilidade e à validação do experimento. A confiabilidade está associada à correta replicação das estruturas anatômicas e à possibilidade de repetição do experimento. Variações na sequência dos cortes poderiam causar diferentes distribuições de forças nos crânios de resina fotoelástica. A solução para esse questionamento consistiu em simular o procedimento da mesma maneira que é realizado em pacientes. O protocolo para ERMCA sugerido por Betts *et al.* (1995) e Betts & Zicardi. (2000) foi utilizado nesse estudo porque elimina de modo seqüencial todas as regiões de resistência para a expansão lateral da maxila. São elas: o pilar canino, o pilar zigomaticomaxilar, a sutura palatina mediana e os processos pterigóideos do osso esfenóide. A técnica cirúrgica descrita por esses autores também indica a separação do septo nasal. Esse procedimento não foi realizado nas simulações desse estudo porque as réplicas de crânio não

apresentam essa estrutura, devido à maneira em que foram confeccionadas, em duas metades.

A validação do experimento depende da similaridade entre a estrutura testada e a estrutura biológica real. De acordo com Jaslow (1990), os princípios de validação de modelos matemáticos também podem ser aplicados em estruturas análogas a reais. As suturas tendem a ser locais de concentração de tensões e o comportamento biológico dessas estruturas ainda não é totalmente compreendido. As grandes diferenças do modelo fotoelástico para o crânio baseiam-se nos diferentes módulos de elasticidade entre o osso e a resina fotoelástica, presenças de suturas ósseas e ligamento periodontal. Porém, os modelos utilizados nesse estudo são idênticos entre si, em relação à forma, dimensões e propriedades elásticas, permitindo padronização e comparação entre os resultados, identificando as diferenças de atuação entre os dispositivos.

As réplicas de crânio em resina fotoelástica usadas nesse experimento também refletem as condições vivenciadas na prática clínica, tanto em relação ao padrão de abertura da osteotomia como em sua similaridade anatômica. Um exemplo são que as principais articulações da maxila são posteriores e superiores (sutura zigomaticomaxilar e os processos pterigóideos do osso esfenóide), as tensões se acumulam no sentido oposto, que são a região anterior e inferior da maxila e por consequência haveria maior aumento da distância interdental, produzindo um padrão de abertura em “V” (Davidovitch *et al.*, 2005).

A similaridade anatômica está relacionada à presença das cavidades existentes no crânio. A espessura das paredes dos seios maxilares das réplicas em resina também são semelhantes ao crânio humano. Os modelos fotoelásticos utilizados nesse estudo apresentam seio maxilar e processos pterigóideos, simulando a presença de pilares de resistência bem definidos (canino, zigomaticomaxilar e processos pterigóideos). Os

modelos utilizados nesse estudo apresentam essa evolução porque todos os modelos de crânios encontrados na literatura científica até o momento não possuem cavidade internas, tornando a validação e replicabilidade do modelo questionável (Chaconas & Caputo, 1982; Alexandridis *et al.*, 1985; Shetty *et al.*, 1994; Kusakabe, 2007).



## 7 CONCLUSÃO

Baseado na metodologia empregada pode-se concluir:

1. A ancoragem promovida pelo expansor Hyrax modificado apresentou melhor distribuição das tensões com menor concentração das mesmas nos dentes e adjacências do que o expansor Hyrax.

2. A ancoragem promovida pelo expansor Rotterdam apresentou melhor distribuição das tensões com menor concentração das mesmas nos dentes e adjacências do que os expansores Hyrax e Hyrax modificado.

3. A realização da disjunção ptérigomaxilar resultou em diminuição da concentração de tensões pelo crânio independente da ancoragem avaliada.

## REFERÊNCIAS\*

Alexandridis C, Caputo AA, Thanos CE. Distribution of stress in the human skull. *J Oral Rehabil.* 1985; 12(6): 499-507.

Angell EC. Treatment of irregularities of the permanent of adult teeth. *Dent Cosmos.* 1860; (1): 540-544.

Anttila A, Finne K, Keski-Nisula K, Somppi M, Panula K, Peltomäki T. Feasibility and long-term stability of surgically assisted rapid maxillary expansion with lateral osteotomy. *Eur J Orthod.* 2004; 26(4): 391-95.

Araújo CA, Neves FD, Bernardes SR. Stress analysis in dental implants using the photoelasticity technique. *Proceedings of the 3th national congress of mechanical engineering.* Belém, Brazil; 2004.

Aziz SR, Tanchyk A. Surgically Assisted Palatal Expansion With a Bone-Borne Self-Retaining Palatal Expander. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008; 66(9): 1788-93.

Basdra EK, Zoller JE, Komposch G. Surgically assisted rapid palatal expansion. *J Clin Orthod.* 1995; 29(12): 762-66.

Bays RA, Greco JM. Surgically assisted rapid palatal expansion: an outpatient technique with long-term stability. *J Oral Maxillofac Surg.* 1992; 50(2): 110-15.

---

\* De acordo com a norma da UNICAMP/FOP, baseada nas normas do International Cometeet of Medical Journal Editors – Grupo de Vancouver. Abreviatura dos periódicos de acordo com o Medline.

Bell WH, Epker BN. Surgical-orthodontic expansion of the maxilla. *Am J Orthod*. 1967; 70(5): 5-17.

Bell WH, Jacobs JD. Surgical-orthodontic correction of horizontal maxillary deficiency. *J Oral Surg*. 1979; 37(12): 897-902.

Betts NJ, Vandarsal RL, Barber HD *et al*. Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. *Int J Orthod Orthognath surg*. 1995; 10(2): 75-96.

Betts NJ, Ziccardi VB. Surgically assisted maxillary expansion. In: Fonseca RJ, editor. *Oral and Maxillofacial Surgery – Orthognathic Surgery*. 1. ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 2000. p. 211-31.

Biederman W. A hygienic appliance for rapid expansion. *J Pract Orthod*. 1968; 2(2): 67-70.

Braun S, Bottrel JA, Lee KG, Lunazzi JJ, Legan HL. The biomechanics of rapid maxillary sutural expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2000; 118(3): 257-61.

Bretos JLG, Pereira MD, Gomes HC, Hino CT, Ferreira LM. Sagittal and vertical maxillary effects after surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME) using haas and Hyrax expanders. *J Craniofac Surg*. 2007; 18(6): 1322-26.

Brown GVI. *The Surgery of Oral Diseases and Malformations: their Diagnosis and Treatment*. London: Kimpton; 1938.

Byloff FK, Mossaz CF. Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion. *Eur J Orthod*. 2004; 26(4): 403-09.

Capellozza Filho L, Mazzottini R, Cardoso Neto J, Silva Filho OG. Expansão rápida da maxila cirurgicamente assistida. *Ortodontia*. 1994; 27(1): 21-30.

Chaconas SJ, Caputo AA. Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances. *Am J Orthod*. 1982; 82(6): 492-501.

Chamberland S, Proffit WR. Closer Look at the Stability of Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion. *J Oral Maxillofac Surg*. 2008; 66(9): 1895-1900.

Chung CH, Goldman AM. Dental tipping and rotation immediately after surgically assisted rapid palatal expansion. *Eur J Orthod*. 2003; 25(4): 353-58.

Ciambotti C, Ngan P, Durkee M, Kohli K, Kim H. A comparison of dental and dentoalveolar changes between rapid palatal expansion and nickel-titanium palatal expansion appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2001; 119(1): 11-20.

Codivilla A. On the means of lengthening, in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity. *Am J Orthop Surg*. 1905; (2): 353-63.

Converse JM, Horowitz SL. The surgical-orthodontic approach to the treatment of dentofacial deformities. *Am J Orthod*. 1969; 55(3): 217-43.

da Silva Filho OG, Boas MC, Capellozza Filho L. Rapid maxillary expansion in the primary and mixed dentitions: a cephalometric evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1991; 100(2): 171-79.

Dally JW, Riley WF. Experimental stress analysis. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha; 1978.

Davidovitch M, Efsthathiou S, Sarne O, Vardimon AD. Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2- versus 4-band appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005; 127(4): 483-92.

Davis, WM, Kronman JH. Anatomical changes induced by splitting of the midpalatal suture. *The Angle Orthodontist.* 1969; 39(2): 126-32.

Dechow P. Biomechanical rationale for surgical-orthodontic expansion of the adult maxilla - Discussion. *J Oral Maxillofac Surg.* 1994; 52(7): 750-51.

Ewers R, Schilli W. Photoelastic experiments on the implantation of a bone graft into the mandible with stable compression osteosynthesis. *Int J Oral Surg.* 1979; 8(6): 462-66.

Fernández-Sanromán J, Donascimento MG, López AC, Ferro MF, Berrondo IA. Transverse maxillary distraction in patients with periodontal pathology or insufficient tooth anchorage using custom-made devices. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010; 68(7): 1530-36.

Glassman AS, Nahigian SJ, Medway JM, Aronowitz HI. Conservative surgical orthodontic adult rapid palatal expansion: sixteen cases. *Am J Orthod.* 1984; 86(3): 207-13.

Haas AJ. Rapid palatal expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod.* 1961; 31(2): 73–90.

Haas AJ. The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 1965; 35(3): 200-17.

Han UA, Kim Y, Park JU. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution and displacement of the maxilla following surgically assisted rapid maxillary expansion. *J Craniomaxillofac Surg*. 2008; 37(3): 1-10.

Hino CT, Pereira MD, Sobral CS, Kreniski TM, Ferreira LM. Transverse Effects of Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: A Comparative Study Using Haas and Hyrax. *J Craniofac Surg*. 2008; 19(3): 718-25.

Holberg C, Holberg N, Schwenzer K, Wichelhaus A, Rudzki-Janson I. Biomechanical Analysis of Maxillary Expansion in CLP Patients. *Angle Orthodontist*. 2007; 77(2): 280-87. A

Holberg C, Steinhäuser S, Rudzki I. Surgically assisted rapid maxillary expansion: Midfacial and cranial stress distribution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007; 132(6): 776-82. B

Ilizarov GA. Clinical applications of the tension–stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop*. 1990; (250): 8-26.

Isaacson RJ, Ingram AH. Forces produced by rapid maxillary expansion. Part I: forces present during treatment. *Angle Orthod*. 1964; (34): 256-60. A

Isaacson RJ, Wood JL, Ingram AH. Forces produced by rapid maxillary expansion. Part II. *Angle Orthod*. 1964; (34): 261-70. B

Jaslow CR. Mechanical properties of cranial sutures. *J Biomech*. 1990; 23(4): 313-21.

Karasz I, Korondi L, Szabo G. Photoelastic stress analysis on mandibular osteosynthesis. *Int J Oral Surg*. 1986; 15(3): 259-62.

Karl M, Dickinson A, Holst S, Holst A. Biomechanical methods applied in dentistry: a comparative overview of photoelastic examinations, strain gauge measurements, finite element analysis and three-dimensional deformation analysis. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2009; 17(2): 50-7.

Kennedy JW 3rd, Bell WH, Kimbrough OL, James WB. Osteotomy as an adjunct to rapid maxillary expansion. *Am J Orthod*. 1976; 70(2): 123-37.

Knaup B, Yildizhan F, Wehrbein H. Age-related changes in the midpalatal suture. A histomorphometric study. *J Orofac Orthop*. 2004; 65(6): 467-74.

Koudstaal MJ, Poort LJ, van der Wal KG, Wolvius EB, Prahl-Andersen, Schulten AJM. Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2005; 34(7): 709-14.

Koudstaal MJ, van der Wal KG, Wolvius EB. Experience with the transpalatal distractor in congenital deformities. *Mund Kiefer GesichtsChir*. 2006; 10(5): 331–34. A

Koudstaal MJ, van der Wal KG, Wolvius EB, Schulten AJM. The Rotterdam palatal distractor: introduction of the new bone-borne device and report of the pilot study. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2006; 35(1): 31-35. B

Koudstaal MJ, Wolvius EB, Schulten AJM, Hop WCJ, van der Wal KG. Stability, tipping and relapse of bone borne versus tooth borne surgically assisted rapid maxillary expansion; a prospective randomized patient trial. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009; 38(2): 308-15. A

Koudstaal MJ, Smets JBJ, Kleinrensink GJ, Schulten AJM, van der Wal KG. Relapse and stability of surgically assisted rapid maxillary expansion: an anatomic biomechanical study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009; 67(1): 10-14. B

Kusakabe T, Caputo AA, Shetty V, Lida J. Biomechanical rationale for surgically facilitated expansion of the maxilla in the cleft palate patient. *World J Orthod.* 2007; 8(2): 167-73.

Landes CA, Laudemann K, Schubel F, Petruchin O, Mack M, Kopp S, Sader RA. Comparison of tooth- and bone-borne devices in surgically assisted rapid maxillary expansion by three-dimensional computed tomography monitoring: transverse dental and skeletal maxillary expansion, segmental inclination, dental tipping, and vestibular bone resorption. *J Craniofac Surg.* 2009; 20(4): 1132-41.

Lehman JA Jr, Haas AJ, Haas DG. Surgical orthodontic correction of transverse maxillary deficiency: a simplified approach. *Plast Reconstr Surg.* 1984; 73(1): 62-8.

Lehman JA Jr, Haas AJ. Surgical-orthodontic correction of transverse maxillary deficiency. *Dent Clin North Am.* 1990; 34(2): 385-95.

Lehman ML. Stress distribution in bone: a study of Benninghoff trajectories of the facial skeleton. In: Schumacher GH, editor. *Morphology of the maxillo mandibular apparatus*; Leipzig: Thieme; 1972. p. 187-92.



Lida S, Haraguchi S, Aikawa T, Yashiro K, Okura M, Kogo M. Conventional bone-anchored palatal distractor using an orthodontic palatal expander for the transverse maxillary distraction osteogenesis: technical note. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008; 105(2): e8-e11.

Lima Jr SM, Asprino L, de Moraes M. Photoelastic analysis of stress distribution of surgically assisted rapid maxillary expansion with and without separation of the pterygomaxillary suture. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011; aceito para publicação.

Marin C, Gil JN, Lima Jr SM. Surgically assisted palatine expansion in adult patients: evaluation of a conservative technique. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009; 67(6): 1274-79.

Mehra P, Cottrell DA, Caiazzo A, Lincoln R. Life-threatening, delayed epistaxis after surgically assisted rapid palatal expansion: a case report. *J Oral Maxillofac Surg* 1999; 57(2): 201-4.

Melsen B. Palatal growth studied on human autopsy material. A histologic microradiographic study. *Am J Orthod.* 1975; 68(1): 42-54.

Mommaerts MY. Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1999; 37(4): 268-72.

Mongini F, Caldrate PM, Barberi G. Relationship between stress and the stress pattern in the human mandible. *J Dent Res.* 1979; 58(12): 2334-37.

Neyt NM, Mommaerts MY, Abeloos JV, De Clercq CA, Neyt LF. Problems, obstacles and complications with transpalatal distraction in non-congenital deformities. *J Craniomaxillofac Surg.* 2002; 30(3): 139-43.

Niederdelmann H, Schilli W, Ewers R, Akuamo-Boateng E. Photoelastic behavior of osteosynthesis plates with different arrangement of screw holes for mandibular fractures. *Int J Oral Surg.* 1975; 4(1): 27-31.

Northway WM, Meade JB Jr. Surgically assisted rapid maxillary expansion: a comparison of technique, response, and stability. *Angle Orthod.* 1997; 67(4 ): 309-20.

Oliveira N L, da Silveira A C, Kusnoto B, Viana G. Three-dimensional assessment of morphologic changes of the maxilla: a comparison of 2 kinds of palatal expanders. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2004; 126(3): 354-62.

Ozturk M, Doruk C, Ozec I, Polat S, Babacan H, Bicakci AA. Pulpal blood flow: effects of corticotomy and midline osteotomy in surgically assisted rapid palatal expansion. *J Craniomaxillofac Surg* 2003; 31(2): 97-100.

Pinto PX, Mommaerts MY, Wreakes G, Jacobs WV. Immediate postexpansion changes following the use of the transpalatal distractor. *J Oral Maxillofac Surg.* 2001; 59(9): 994-1000.

Pogrel MA, Kaban LB, Vargervik K, Baumrind S. Surgically assisted rapid maxillary expansion in adults. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg.* 1992; 7(1): 37-41.

Ralph JP, Caputo AA. Analysis of stress patterns in the human mandible. *J Dent Res.* 1975; 54(4): 814-21.

Ralph JR. Photoelastic studies in the edentulous human mandible. *J Dent.* 1975; 3(1): 9-14.

Ramieri GA, Spada MC, Austa M, Bianchi SD, Berrone S. Transverse maxillary distraction with a bone-anchored appliance: dento-periodontal effects and clinical and radiological results. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2005; 34(4): 357-63.

Rudman RA, Rosenthal SC, Shen C, Ruskin JD, Ifju PG. Photoelastic analysis of miniplate osteosynthesis for mandibular angle fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1997; 84(2): 129-36.

Sato FRL, Asprino L, Consani S, de Moraes M. Comparative biomechanical and photoelastic evaluation of different fixation techniques of sagittal split ramus osteotomy in mandibular advancement. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010; 68(1): 160-66.

Schimming R, Feller KU, Herzmann K, Eckelt U. Surgical and orthodontic rapid palatal expansion in adults using Glassman's technique: retrospective study. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2000; 38(1): 66-9.

Seeberger R, Kater W, Davids R, Thiele O. Long term effects of surgically assisted rapid maxillary expansion without performing osteotomy of the pterygoid plates. *J Cranio Maxillofac Surg.* 2010; 38(3): 175-78.

Shetty V, Caridad JM, Caputo AA, Chaconas SJ. Biomechanical rationale for surgical-orthodontic expansion of the adult maxilla. *J Oral Maxillofac Surg.* 1994; 52(7): 742-9.

Sicher H, Dubrul L. *Anatomia Oral.* São Paulo: Porto Alegre, 1991.

Silverstein K, Quinn PD. Surgically assisted rapid palatal expansion for management of transverse maxillary deficiency. *J Oral Maxillofac Surg.* 1997; 55(7): 725-27.

Suri L, Taneja P. Surgically assisted rapid palatal expansion: A literature review. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2008; 133(2): 290-302.

Tausche E, Hansen L, Hietschold V, Lagravère M, Harzere W. Three-dimensional evaluation of surgically assisted implant bone-borne rapid maxillary expansion: A pilot study. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2007; 131(4):S92-s99.

Timms DJ. A study of basal movement with rapid maxillary expansion. Am J Orthod. 1980; 77(5): 500-7.

Timms DJ, Vero D. The relationship of rapid maxillary expansion to surgery with special reference to midpalatal synostosis. Br J Oral Surg. 1981; 19(3): 180-96.

Verstraaten J, Kuijpers-Jagtman AM, Mommaerts MY, Berge SJ, Nada RM, Schols JGJH. A systematic review of the effects of bone-borne surgical assisted rapid maxillary expansion. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. 2010; 38(3): 166-74.

Ueda C, Markarian RA, Sendyk CL, Laganá DC. Photoelastic analysis of stress distribution on parallel and angled implants after installation of fixed prostheses. Braz Oral Res. 2004, 18(1): 45-52.

Wriedt S, Kunkel M, Zentner A, *et al.* Surgically assisted rapid palatal expansion: an acoustic rhinometric, morphometric and sonographic investigation. J Orofac Orthop. 2001; 62(2): 107-15.